

Askåterföring på skogsmark

- en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi

Wood-ash application on forest soil

- a meta-analysis of the effects on surface waters acid-base chemistry



Foto:Sami Rahkonen

Matilda Johansson



Examensarbeten

2014:4

Fakulteten för skogsvetenskap
Institutionen för skogens ekologi och skötsel

Askåterföring på skogsmark

- en metaanalys om påverkan på ytvattnets syra-baskemi

Wood-ash application on forest soil

- a meta-analysis of the effects on surface waters acid-base chemistry

Matilda Johansson

Nyckelord / Keywords:

Askåterföring, skogsmark, ytvatten, försurning, ANC/
Wood-ash application, forest soils, surface water, acidification, ANC

ISSN 1654-1898

Umeå 2014

Sveriges Lantbruksuniversitet / *Swedish University of Agricultural Sciences*

Fakulteten för skogsvetenskap / *Faculty of Forest Sciences*

Jägmästarprogrammet / *Master of Science in Forestry*

Examensarbete i markvetenskap / *Master degree thesis in Soil Science*

EX0178, 30 hp, avancerad nivå A2E/ *advanced level A2E*

Handledare / *Supervisor*: Stefan Löfgren

SLU, Inst för vatten och miljö / *SLU, Dept of Aquatic Sciences and Assessment*

Examinator / *Examiner*: Tord Magnusson

SLU, Inst för skogens ekologi och skötsel / *SLU, Dept of Forest Ecology and Management*

I denna rapport redovisas ett examensarbete utfört vid Institutionen för skogens ekologi och skötsel, Skogsvetenskapliga fakulteten, SLU. Arbetet har handledts och granskats av handledaren, och godkänts av examiner. För rapportens slutliga innehåll är dock författaren ensam ansvarig.

This report presents an MSc/BSc thesis at the Department of Forest Ecology and Management, Faculty of Forest Sciences, SLU. The work has been supervised and reviewed by the supervisor, and been approved by the examiner. However, the author is the sole responsible for the content.

Förord

Denna metaanalys är utförd som ett examensarbete vid Sveriges Lantbruksuniversitet inom ramen för ett samarbete mellan Institutionen för vatten och miljö i Uppsala och Institutionen för skogens ekologi och skötsel i Umeå. Arbetet är inriktat på effekter av askåterföring på ytvattnets syra-baskemi i behandlade avrinningsområden.

Jag vill tacka min handledare, Stefan Löfgren, vid Institutionen för vatten och miljö i Uppsala, som bidragit med värdefulla synpunkter, kunskap och som stöttat mig genom arbetsprocessen. Jag vill även tacka Tord Magnusson, examinator, och som på plats i Umeå underlättat samarbetet med Stefan. Utan ert stöd hade detta arbete varit ogjort.

Även framträdande forskare inom ämnet: Sirpa Piirainen, Metla, och Eva Ring, Skogforsk, har bidragit med viktigt och användbart data över vattenkemi som ligger till grund för en del av metaanalysen. Tack också till Anders Muszta, SLU, som bidragit med statistisk kunskap och Stefan Andersson, Skogsstyrelsen, som bidragit med dataunderlag om utförda askåterföringsarealer i Sverige. Jag vill även tacka Sami Rahkonen som lånat ut omslagsfotot.

Nyckelord: Askåterföring, skogsmark, ytvatten, förorening, ANC

Keywords: Wood-ash application, forest soils, surface water, acidification, ANC

Matilda Johansson

Umeå, 2014-02-04

Sammanfattning

Uttaget av biomassa har ökat i det svenska skogsbruket. Energi från biomassa är en viktig del i att Sverige nu uppnått EU's miljömål om att minst 50 % av vår energiförbrukning skall komma från förnyelsebara källor. I och med en ökad förbränning av biobränslen bildas också mer vedaska som idag till största del deponeras. Aska är starkt basverkande och innehåller alla de mineralnäringsämnen, förutom kväve, som träden under sin tillväxt tagit upp. Ett ökat biomassauttag och ett intensivare skogsbruk ger en ökad naturlig förurning, och en ökad bortförsel av mineralnäringsämnen. Det är känt att askåterföring kan ha en positiv påverkan markens syra-baskemi och näringsbalans, men inte tillräckligt väl känt hur det påverkar det avrinnande ytvattnet i det behandlade området.

Detta arbete är en metaanalys som grundar sig på publicerade rapporter och ej publicerat rådata över ytvattenkemin i bäckar på askåterförda och/eller kalkade områden före och efter behandling. En litteraturstudie genomfördes för att finna jämförbara försök i Skandinavien där ANC (Acid Neutralizing Capacity) kunde beräknas för varje enskilt försök. ANC används som ett mått på vattnets förmåga att buffra för ovan nämnda förurning och det är önskvärt att ANC-värdet ökar i försurade bäckar.

Försöken delades in i parförsök (referenser och behandlat område i anslutning till varandra), fristående referenser (referenser i samma region som behandlat område, men inte i direkt anslutning till det) och tidsserier (mätningar före och efter behandling, men avsaknad av obehandlad referens) och givorna delades in i låg-, normal- och högdos. En omräkning gjordes så att kalk och askåterföringsförsök blev jämförbara. Totalt beräknades ANC för 54 försök behandlade med kalk och/eller aska fördelade på 16 olika försöksområden i Sverige, Norge och Finland. Tidsperioden för försöken sträckte sig upp till 16 år. Resultatet visar att variansen i förändringen av ANC var mycket stor, men det förelåg en statistiskt signifikant större ökning av medianvärdet på ANC bland de behandlade bäckarna än bland de obehandlade (+72 $\mu\text{ekv/l}$ respektive +31 $\mu\text{ekv/l}$, $p\text{-värde}=0,0137$). Resultatet visar även att storleken på givan påverkar förändringen av ANC. Givan förklarar dock endast ca 5 % av variansen i resultatet.

Denna metaanalys är baserad på ett begränsat antal försök med olika förutsättningar med avseende på klimat, syradeposition och markegenskaper. Detta har stor betydelse för askåterföringens påverkan på syra-baskemin i det avrinnande ytvattnet. Fler studier behövs där effekten av yttre faktorer som påverkar syra-baskemin kan kontrolleras eller uteslutas. Resultaten från detta arbete visar att askåterföring kan vara en metod för att höja ytvattnets ANC. Skogsstyrelsens rekommendation om att inte askåterföra närmare än 25 meter från vattendrag och att givan inte får överskrida 3 ton/ha (6 ton/ha och omloppstid) innebär dock att effekten på ytvatten blir liten eller försumbar. Torvmarker och utströmningsområden bör inkluderas i behandlingen och givorna bör höjas för att det skall bli en mätbar förändring av ytvattnets ANC.

Summary

Harvesting of biomass from forestry has increased. The biomass act as fuel to the power stations and plays an important role in the success to reach EU's environmental goals of a minimum of 50 % of the energy use should be renewable. Increased use of biomass will result in increased amount of wood-ash. Ash is very alkali and contains all the nutrients, except nitrogen, that the tree has been taken up during growth. An increase of biomass harvesting and a more intense forestry will increase the natural acidification and the loss of mineral nutrients from the forest soil. It is known that wood-ash application can decrease the acidity and increase the pool of mineral nutrient in forest soil, but it is not yet well known how wood-ash application can affect the run-off surface water chemistry.

This project is a meta-analysis that is based upon published studies and unpublished data of surface water chemistry in streams from wood-ash or limed areas before and after treatment. A literature study was made to find comparable experiments in Scandinavia where ANC (Acid Neutralizing Capacity) could be calculated. ANC is used as a measure of the waters capacity to buffer for mentioned acidification and it is desirable to reach an increase in ANC in acidified streams.

The experiments were grouped in paired experiments (reference stream and treated stream close to each other in parallel catchments in the same water system), separate references (reference and treated streams in parallel catchments, but at longer distance from each other) and time series (measurements before and after treatment in the same stream). The different doses were grouped in low-, normal- and high doses. Re-calculations were made to make lime and ash experiments comparable. ANC was calculated for a total of 54 different experiments in 16 different areas in Sweden, Norway and Finland. The time period for the experiments reached up to 16 years.

The results show that the variance of the effect on the ANC after treatment was large, but there was a statistical significant larger increase on the median values for ANC in the treated areas than the reference areas (+72 $\mu\text{ekv/l}$ respectively +31 $\mu\text{ekv/l}$, $p=0,0137$). The results also show that the size of the dose affected the change in ANC. But the dose explained only about 5 % of the variance.

This meta-analysis is based upon relatively few experiments with different climate, acid deposition and soil properties. These parameters will affect the result of wood-ash application in surface waters. More studies are needed where external factors can be controlled or excluded. The results from this work show that wood-ash application can be a method to increase the ANC in surface water. The recommendation from the Swedish forest agency (not closer than 25 meters from water, and doses not exceeded 3 ton/ha (6 ton/ha and rotation period)) is very restrictive, and means that the effect will be negligible. Discharge areas should be included and the doses should be increased if the desirable effect of surface water should be reached.

Innehåll

Förord.....	3
Sammanfattning	4
Summary	5
Bakgrund.....	8
Varför askåterföring?	8
Vad säger lagstiftningen om askåterföring?	10
Hur mycket aska återförs till skogen idag?	11
Vad innehåller askan och var kommer den ifrån?	11
Potentiellt negativa effekter på mark och vatten.....	13
Potentiellt positiva effekter på ytvattenkemin	14
Askåterföring i jämförelse med kalkning	14
Syfte, målsättning och hypotes	15
Material och metod	16
Metaanalys	16
Sökmetod	16
<i>Databaser</i>	16
<i>Sökord</i>	17
Kriterier för att inkludera studier i metaanalysen	17
<i>Studiens relevans</i>	17
<i>Typer av studier</i>	17
Urvalsstrategi	18
Kvalitetsurval.....	18
Felkällor	18
Dataurval	19
<i>Ytvattenkemiska parametrar</i>	19
<i>Försöksupplägg</i>	19
<i>Försöksperiod och geografisk position</i>	20
Indelningar av försöken i kategorier	20
Beräkning av behandlingseffekt på ANC	21
<i>Fristående referenser</i>	22
<i>Tidsserier</i>	22

<i>Sammanslagning av försök med referensbäckar</i>	23
Resultat	24
Litteraturstudien	24
Metaanalysen	31
Parförsök.....	31
Tidsserier	34
Fristående referenser	35
Alla inkluderade försök.....	37
Diskussion.....	40
Vad visar resultaten?	40
Askans sammansättning och tidpunkt för när försöket anlades	40
Försökens geografiska läge.....	41
Betydelsen av torvmark och behandlingens areella omfattning	42
Påverkan av givans storlek.....	43
Generella slutsatser och rekommendationer	43
Referenser	45
Muntlig kommunikation	47
Omslagsbild	47

Bakgrund

Varför askåterföring?

Efterfrågan på förnyelsebara energikällor ökar, både globalt och i Sverige. Sverige har under 2013 uppnått EU's miljömål om att minst 50 % av Sveriges totala energikonsumtion skall komma från förnyelsebara källor (Regeringskansliet 2013). Skogsbruket i Sverige spelar en viktig roll som leverantör av förnyelsebart biobränsle från skogsmarken. Detta i form av helträdsuttag: GROT-uttag (Grenar Och Toppar) samt stubbskörd. Från 2002 till 2011 ökade GROT-arealerna med ca 360 % i Sverige och potentialen till ytterligare uttag bedöms vara goda (Andersson 2013; Skogsstyrelsen 2013).

Helträdsuttag leder till ökat uttag av näring och baskatjoner från skogsmarken (Iwald 2013; Ring et al. 2011; Akselsson et al. 2000). I jämförelse med enbart stamvedsuttag kan helträdsuttag ha 1,5-5 gånger högre koncentration av viktiga baskatjoner och näringsämnen (bl.a. kalcium; Ca^{2+} , magnesium; Mg^{2+} , kalium; K^{+} och natrium; Na^{+}) (Sverdrup & Rosen 1998; Olsson et al. 1996). Vid konventionell avverkning då GROT och stubbar lämnas kvar på avverkningsplatsen bryts de ned och de lagrade poolerna av baskatjoner och näringsämnen i biomassan återförs till marken. Helträdsuttag kan leda till utarmning av näringsämnen och minskad förmåga för marken att buffra för eventuellt tillskott av aciditet i form av naturlig försurning och sur deposition (Iwald 2013; Zetterberg 2013; Norström et al. 2011).

För att minimera risken för denna utarmning och markkemiska obalans har Skogsstyrelsen rekommendationer om att återförsel av mineralnäring bör ske på marker med helträdsuttag (Skogsstyrelsen 2008a). Askåterföring är en metod att återföra dessa viktiga mineraler till skogsmarken, då askan innehåller alla de näringsämnen och baskatjoner som träden tagit upp under en omloppstid förutom kväve (N) (Skogsstyrelsen 2008b). Askan är även starkt basverkande (Jacobson et al. 2004; Saarsalmi et al. 2001) och kan bidra till att Sverige även uppnår det nationella miljömålet: Bara naturlig försurning (Naturvårdsverket 2012).

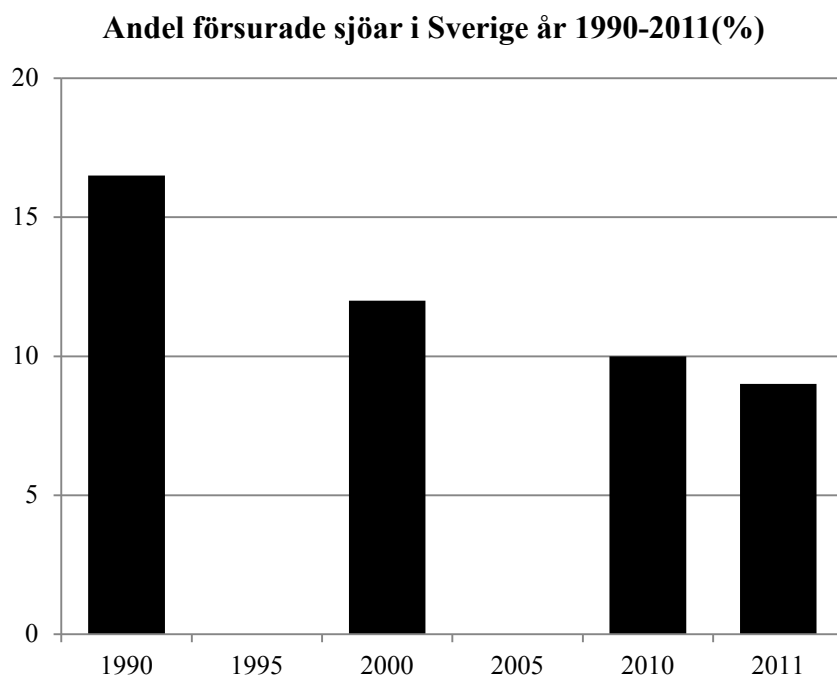
Huvudargumentet för askåterföring är att göra helträdsuttag mer hållbart genom ett slutet kretslopp av baskatjoner som återförs till marken efter det rotupptag som skett under trädens tillväxt. Detta skall gynna både syra-baskemin och näringsbalansen i skogsmarken (Skogsstyrelsen 2008b). Om aska återförs på marker som i första hand inte är kvävebegränsade, t.ex. dikade torvmarker eller mycket högproduktiva marker, så ger det dessutom en betydande tillväxteffekt (Piirani et al. 2013; Päivänen & Hånell 2012; Augusto et al. 2008; Jacobson et al. 2004).

Aska från förbränning av trä har generellt ett pH-värde mellan pH 10 och 13, och dess basverkan kommer från höga koncentrationer av kalcium i form av oxider (CaO), hydroxider (Ca(OH)_2) och karbonater (CaCO_3) (Skogsstyrelsen 2013). Denna basverkan bidrar till att minska den totala aciditeten och höja markens förmåga att buffra för låga pH-värden. Askan kan även bidra till att bibehålla näringsbalansen i marken efter intensivt skogsbruk vilket gynnar tillväxten för nästa generations träd (Skogsstyrelsen 2008b).

Försurade vattendrag i skogsmarken har varit, och är på vissa ställen än idag, ett stort miljöproblem (Naturvårdsverket 2011; Egnell et al. 2008). Sur nederbörd kopplat till utsläpp av svaveldioxid omvandlas till svavelsyra i atmosfären, marken tillförs

sulfatjoner (SO_4^{2-}) och vätejoner (H^+) som tillför aciditet och sänker pH-värdet. Den sura depositionen ökade drastiskt i Europa under industrialiseringen och nådde sin högsta nivå i Sverige på 1970-talet (Warfvinge & Bertills 2000).

Tack vare framgångsrikt miljöarbete har sedan dess depositionen av försurande svavel minskat med 70 % i Europa (Naturvårdsverket 2011). Den kraftiga minskningen har lett till att andelen försurade sjöar större än en hektar i Sverige idag är beräknat till 10 % (figur 1). Men variationen är stor och lokalt i sydvästra Sverige är än idag 47 % av sjöarna försurade (Naturvårdsverket 2012).



Figur 1 Andel (%) försurade sjöar över en hektar i Sverige år 1990-2011 (Naturvårdsverket 2012). Data saknas för år 1995 och 2005.

Figure 1 Proportion (%) of acidified lakes over 1 hectare in Sweden year 1990-2011. Data from the Swedish Environmental Protection Agency (Naturvårdsverket 2012). Data is missing from year 1995 and 2005.

Markens naturliga återhämtning från denna försurning pågår, men det tar lång tid och på flera ställen behövs hjälpåtgärder, särskilt med tanke på att ett ökat biomassauttag minskar markens buffringskapacitet (Naturvårdsverket 2011). Modeller visar att återhämtningen kan ta upp till 100 år på försurade arealer trots att den sura deposition minskat kraftigt (Warfvinge & Bertills 2000). Även om en ny balans uppstår så kommer marker med tidigare hög aciditet och låg buffringskapacitet att ha ett så pass lågt pH-värde att marken anses som kroniskt försurad vilket innebär att det fortfarande finns risk för höga halter av oorganiskt aluminium i marken som kan lakas ut till avrinnande ytvatten. (Löfgren 2008; Larsson et al. 2003; Moldan & Kronnäs 2003; Warfvinge & Bertills 2000; Moldan et al. 1999).

Skogsmarkskalkning har använts i försök och även i liten skala på privat skogsmark som en metod för att nå miljömålet ”bara naturlig försurning” på 1980-90 talet i Sverige (Naturvårdsverket 2012; Naturvårdsverket 2011).

Från 1990-talet och framåt började även försök med askåterföring som en metod för att höja markens pH-värde. Lokalt har askåterföring visats ge en kraftig basverkan på markkemin (Jacobson et al. 2004; Saarsalmi et al. 2001; Nilsson & Lundin 1996; Fransman & Nihlgård 1995). Basverkan mellan aska och kalk är jämförbar, men en stor skillnad är att kalkning innehåller färre näringsämnen och inte visar några betydande tillväxteffekter (Andersson & Hildingsson 2004; Akselsson et al. 2000). Aska däremot, är en komplex sammansättning av alla de mineraler och näringsämnen som träden under en omloppstid tagit upp (utom N), främst fosfor som på vissa marker kan vara tillväxtbegränsande (Päivänen & Hånell 2012; Hjerpe et al. 2008). Aska är en kretsloppsprodukt som utvinns från restprodukter av förbrända skogsbiobränslen, medan kalk måste utvinnas ur mineral (kalcit, dolomit, etc.) och kan därmed bli mer kostsamt både ekonomiskt och ekologiskt än att använda sig av träaska.

Idag finns även studier gjorda på askåterföringens effekt på ytvattenkemin där huvudsyftet är att det skall ha en basverkande effekt på försurade vattendrag (Piirainen et al. 2013; Norström et al. 2011; Ring et al. 2011). Askåterföring kan således vara en metod i att nå Sveriges miljömål om ”bara naturlig försurning” både med avseende på mark- och vattenkemi. I detta arbete undersöks askåterföringens basverkande effekt på ytvattenkemin, men även jämförelser med skogsmarkskalkning kommer att göras.

Vad säger lagstiftningen om askåterföring?

I skogsvårdslagens 30§ uttryckts det tydligt att askåterföring, eller annan tillförsel av mineralnäring, bör ske vid helträdsuttag.

Skogsbränsleuttag och näringskompensation 30 §

7:27 När träddelar utöver stamvirket tas ut ur skogen ska åtgärder vid behov vidtas så att skador inte uppstår på skogsmarkens långsiktiga näringsbalans och buffringsförmåga mot försurning. Stubbskörd får inte ske i skyddszoner mot sjöar och vattendrag.

Allmänna råd till 7:27

Tillförsel av mineralnäring, t.ex. aska, bör ske som kompensation vid uttag av träddelar utöver stamvirke, motsvarande mer än ett halvt ton torrsubstans ren ohärdad aska, per hektar och omloppstid.

Uttag bör inte ske på starkt försurade marker eller på torvmarker som används för skogsproduktion utan tillförsel av mineralnäring. Vid användande av aska som näringskompenserande åtgärd bör askans mängd, form och sammansättning samt tidpunkt för åtgärden väljas så att kväveutlakning och förluster av tillförd näring begränsas.

Askan bör ha sitt ursprung i skogsbränsle, samt vara stabiliserad och långsamlös. Innehåll av näring, tungmetaller och andra skadliga ämnen bör finnas dokumenterade genom t.ex. ett analysprotokoll. Maximalt 3 ton aska TS bör spridas per hektar och 10-årsperiod. Sammantaget under ett bestånds omloppstid bör inte mer än 6 ton aska TS (torrsubstans) tillföras per hektar.

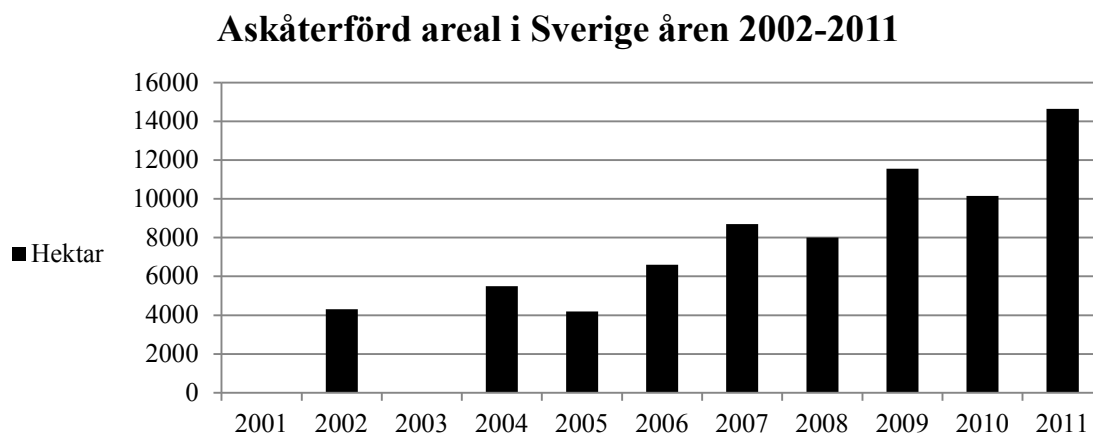
Näringskompenserande åtgärder bör inte ske närmare än 25 m mot sjöar, vattendrag, våtmarker, hänsynskrävande biotoper och tomtmark. Näringskompensation bör dessutom inte ske på kulturlämningar då metallföremål, organiskt material och det biologiska kulturarvet kan påverkas negativt.

Aska är på samma sätt som GROT-uttag samrådspliktigt enligt miljöbalkens 12:e kapitel, 6§, där det står följande:

Kan en verksamhet eller en åtgärd som inte omfattas av tillstånds- eller anmälningsplikt enligt andra bestämmelser i denna balk komma att väsentligt ändra naturmiljön, skall anmälan för samråd göras hos den myndighet som utövar tillsynen enligt bestämmelser i 26 kap. eller bestämmelser som har meddelats med stöd av samma kapitel. (Miljöbalken 12 kap 6 §) (Skogsstyrelsen 2013)

Hur mycket aska återförs till skogen idag?

Det utförs idag askåterföring i främst Sverige och Finland (Piirainen 2013; Päivänen & Hånell 2012). Även försök i Norge är gjorda (Hindar 2005; Hindar 2003). I Sverige är Skogsstyrelsen huvudaktör för askåterföring och i deras regi har askåterföringen ökat varje år. År 2011 behandlades nästan 15000 hektar (figur 2). Västra Götaland står för den största arealen där 3717 ha behandlades med askåterföring år 2011. Även arealen med GROT-uttag har ökat. GROT-uttag anmäldes för 121229 ha år 2011, jämfört med endast 33662 ha år 2002. Ett långsiktigt mål är att all areal där GROT-uttag genomförts även skall behandlas med askåterföring (Andersson 2013).



Figur 2 Antal hektar skogsmark som årligen behandlats med askåterföring i Sverige i Skogsstyrelsens regi under perioden 2002-2011 (Andersson 2013). Data saknas för år 2001 och 2003.

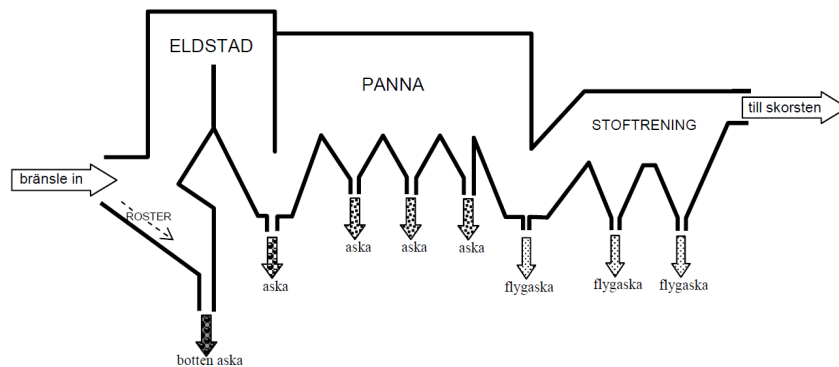
Figure 2 Forest land (hectares/year) treated with wood-ash during the period 2002-2011 under supervision of the Swedish Forest Agency (Andersson 2013). Data is missing from year 2001 and 2003.

Vad innehåller askan och var kommer den ifrån?

Vid askåterföring i Skandinavien används ren träaska som härstammar främst från lokala värmeverk (Skogsstyrelsen 2013; Tulonen 2002). Detta ger ett så slutet kretslopp som möjligt där mineralnäringen från GROT och stubbar återförs till den behandlade skogsmarken.

Det finns olika typer av vedaska. Typerna kan definieras utifrån värmeverkens framställning av askan och var i förbränningsprocessen den utvinns (figur 3). Flygaska utvinns ur rökgasreningen efter förbränning, och bottenaska utvinns direkt under förbränningen. Flygaska innehåller höga koncentrationer av näringsämnen, men kan också innehålla höga halter av tungmetaller. Bottenaska kan å andra sidan innehålla en del oförbränt träkol och ge mindre basverkan på mark och vatten. På

många mindre anläggningar blandas fraktionerna för att halten av tungmetaller ej ska bli för hög.



Figur 3 Schematisk figur över olika typer av vedaska som utvinns från ett värmeverk (Värmeforsk 2011).

Figure 3 Schematic picture of wood-ash production of different types in a thermal power station (Värmeforsk 2011).

Skogsstyrelsen har tagit fram riktlinjer för att askan inte ska innehålla en högre koncentration av näringsämnen och tungmetaller än vad träden på svensk skogsmark i genomsnitt under en omloppstid tagit upp via rötterna (tabell 1). Detta för att minimera risken för övergödning eller öka markens innehåll av tungmetaller (Skogsstyrelsen 2008b; tabell 1).

Tabell 1 Rekommenderade minimi- och maximihalter (g/kg TS) av ämnen i askprodukter avsedda för spridning i skogsmark (Skogsstyrelsen 2008b).

Table 1 Recommended maximum and minimum concentrations of different elements (g/kg TS) in ash-products aimed for forest soil application. Data is from the Swedish forest agency (Skogsstyrelsen 2008b).

Element	Rekommenderade halter	
	Lägsta	Högsta
Mikronäringsämnen, g/kg TS		
Kalcium	125	
Mangan	15	
Kalium	30	
Fosfor	7	
Spårämnen, g/kg TS		
Bor		0,8
Koppar		0,4
Zink	0,5	7
Arsenik		0,03
Bly		0,3
Kadmium		0,03
Krom		0,1
Kviksilver		0,003
Nickel		0,07
Vanadium		0,07

Kalcium, magnesium, fosfor, mangan och järn fördelar sig relativt jämt mellan flyg- och bottenaskan, medan kalium som är relativt lättflyktigt återfinns i högre halter i flygaskan. Oftast är halterna av tungmetaller högre i flygaska än i bottenaska, men flygaska har också oftast en större kalkverkan och givorna behöver således inte vara lika stora (Skogsstyrelsen 2013; Värmeforsk 2011). Oavsett vilken typ av aska som används så skall den analyseras på dess kemiska sammansättning, och följa restriktionerna i tabell 1 (Skogsstyrelsen 2008b). För att göra upplösningen i fält så långsam som möjligt skall askan härddas med tillförsel av vatten och koldioxid tillräckligt länge för att lättlösliga former av kalciumhydroxider/oxider skall omvandlas till mer stabila former av kalciumkarbonat (Skogsstyrelsen 2008b; Tulonen et al. 2002). Oftast är även askan granulerad (Skogsstyrelsen 2008b).

Potentiellt negativa effekter på mark och vatten

Om askan löses upp långsamt blir den direkta pH-ökningen på marken inte skadligt stor och växternas rötter har större chans att ta upp de frigjorda näringsämnena innan de lakas ut med markvattnet (Skogsstyrelsen 2008b). Men det finns studier som visar att det föreligger en risk att askåterföring kan ha negativa effekter på vattenkvaliteten på grund av urlakning av näringsämnen och tungmetaller (Piirani et al. 2013; Ring et al. 2011; Tulonen et al. 2002). Det är en av orsakerna till att askåterföring inte

rekommenderas närmare än 25 meter från våtmarker och vattendrag (Skogsvårdslagen 2013).

Även om gränsvärdena från Skogsstyrelsen följs (tabell 1), så blir mängden av tungmetaller och näringsämnen hög vid doseringstillfället och de förekommer delvis i lättlösliga former (Piirainen et al. 2013; Ring et al. 2011; Tulonen et al. 2002). Den tillförda mängden kan vara upp till tio gånger högre än vad träden kan ta upp under ett år vid återföring av rekommenderade givor (Piirainen et al. 2013). Även om askan i sig självt inte innehåller något kväve så finns det studier som visar ett ökat kväveläckage efter askåterföring på grund av ökad nitrifikation (Piirainen et al. 2013).

Försurad mark som behandlas med aska får ett något högre pH-värde. Detta gynnar markaktiviteten och den biologiska nedbrytningen. En ökad nedbrytning leder till ökad koncentration av ammonium. Vid närvaro av syre kan detta mikrobiellt omvandlas till nitrat (NO_3^-) (Magnusson 2009). Nitrat är en negativt laddad jon som inte binds till de negativt laddade markpartiklarna och därför är mycket rörlig i marken. En ökad nitrifikation kan därför leda till en förhöjd kväveutlakning (Piirainen 2013; Magnusson 2009).

Risken för storskaliga effekter på ytvattenkemin i avrinnande ytvatten orsakade av urlakning av näringsämnen och tungmetaller nedströms askade skogsmarksområden är enligt flera försök begränsad (Piirainen et al. 2013, Norström et al. 2011, Ring et al. 2011, Tulonen et al. 2002, Magnusson 2009).

Potentiellt positiva effekter på ytvattenkemin

Det är relativt väl undersökt hur askåterföring påverkar mark och markvatten i det behandlade området (Ring et al. 2006; Arvidsson & Lundkvist 2003; Geibe et al. 2003; Saarsalmi et al. 2001) men det är ännu inte tillräckligt väl utrett hur askåterföring påverkar det avrinnande ytvattnet (Piirainen 2013; Kronnäs et al. 2012; Norström 2011).

Askåterföringens basverkande effekt på ytvatten, kan mätas som en förändring av ANC (Acid Neutralising Capacity) det vill säga vattnets förmåga att motstå försurning (Reuss & Johnson 1986). ANC tar hänsyn till vattnets totala buffringskapacitet, även aluminiumsystemet och organiska syror och baser (Stumm & Morgan 1981). I sura skogsbäckar ($\text{pH} < 5,4$) är all vätekarbonat (HCO_3^-) förbrukad och pH-värdet styrs framförallt av organiska syror och eventuellt aluminiums löslighet om det är mycket surt (Stumm & Morgan 1981). ANC är ett ”kapacitetsmått”, medan pH är ett ”intensitetsmått”. Det är viktigt att ett vatten har ett högt ANC, oavsett pH-värde, då ett högt ANC innebär en god motståndskraft mot eventuella försurande ämnen och ett intensifierat skogsbruk (Gustafsson et al. 2001).

Askåterföring i jämförelse med kalkning

Att kalka ytvatten är sedan länge utfört som en åtgärd för att höja ytvattnets ANC och pH. Även kalkning av skogsmark har på försöksnivå använts för att minska markens totala aciditet (Naturvårdsverket 2011). Att askåterföra anses kunna ge jämförbar basverkande effekt på vattendrag med samma kemiska reaktioner vad gäller karbonater, men bidrar dessutom till att återföra viktiga näringsämnen till skogsmarken efter biomassaavtag. När man talar om askans kalkverkan talar man främst om askans kalkinnehåll (i form av kalciumoxid (CaO) och kalciumkarbonat (CaCO_3)) (Skogsstyrelsen 2013). Generellt beräknas aska som tillförts skogsmark ha

50 % av kalkverkan jämfört med kalk (Skogsstyrelsen 2013; Skogsstyrelsen 2006; Eriksson & Börjeson 1991). Askåterföring kan alltså kombinera kalkningens basverkan med en återföring av mineralnäringsämnen. Tillgången på aska tros i framtiden öka i och med en ökad förbränning av skogsbiobränslen (Andersson 2013; Skogsstyrelsen 2013).

Syfte, målsättning och hypotes

Syftet med detta arbete är att undersöka vilka effekter askåterföring på skogsmark i boreal skog kan ha på det avrinnande ytvattnets syra-baskemi. Arbetet baseras på en metaanalys av befintliga studier utförda i Skandinavien.

Resultatet analyseras ställt i relation till miljömål, lagar och riktlinjer som idag gäller för askåterföring.

Följande hypotes testas:

- *Det föreligger inte något statistiskt signifikant samband mellan askåterföring eller kalkning av skogsmark och det avrinnande ytvattnets ANC*

Material och metod

Metaanalys

Resultaten i denna rapport grundar sig på en metaanalys utförd på resultat från befintliga studier och försök. Originaldefinitionen av en metaanalys myntades 1976 och lyder: ”Den statistiska analysen över en stor samling resultat med syfte att sammankoppla resultaten” (DeCoster 2009).

Det har gjorts betydligt fler försök med skogsmarkskalkning än askåterföring. Kalkning och askåterföring är två jämförbara metoder vad gäller basverkan på ytvatten (se Bakgrund). Därför ansågs det lämpligt att göra jämförelser med båda behandlingstyperna för att få ett större dataunderlag till metaanalysen. Behandlingsmetoderna har grupperats och definierats genomgående i rapporten så att det tydligt framgår om resultaten gäller askåterföring eller skogsmarkskalkning eller en blandning av båda.

Följande steg följdes vid metaanalysen enligt DeCoster (2009):

- Definition av ett teoretiskt samband mellan olika parametrar (askåterföring och vattenkemi)
- Insamling av studier som kan bidra med data till sambandet (kalkade och askåterförda skogsmarker där mätningar av den avrinnande ytvattenkemin är gjorda före och efter behandling)
- ”Kodning” av studierna med avseende på dess olika försökstyper (parförsök, fristående referenser eller tidsserier)
- Sammanfattning av ovan uppsatta kriterier och urval till en metod som kan upprepas med samma resultat.
- En statistisk bearbetning av resultaten utförs och metaanalysens resultat redovisas.

Vid en metaanalys formuleras tydliga gränser så att alla relevanta försök kommer med i analysen och kan bidra till slutsatserna, samtidigt som inga irrelevanta försök inkluderas i sammanvägningen då alla studier måste undersöka samma samband (DeCoster 2009).

Sökmetod

Databaser

Till detta arbete användes de största internationella litteraturdatabaserna för att finna publicerade internationella studier inom ämnet, samt svenska databaser via SLU och svenska myndigheter för att finna nationellt viktiga och relevanta publikationer.

- *ISI Web of Knowledge* och *Scopus* användes för att finna vetenskapliga och internationellt publicerade studier.
- *Google scholar* användes för att finna populärvetenskaplig litteratur och publicerade texter från svenska myndigheter såsom Naturvårdsverket och IVL.
- *Primo* (SLU's biblioteksarkiv) användes för att finna tidskrifter och publiceringar från försök och avhandlingar gjorda inom SLU.
- *Skogsstyrelsens webbportal* användes för att finna lagar och förordningar som rör askåterföring samt myndighetens egna publikationer.

Sökord

I *ISI Web of Knowledge* och *Scopus* databaser användes följande sökord:

- Wood ash* OR "ash fertiliz*" AND water
- Wood ash* OR "ash fertiliz*" AND ANC
- Wood ash* OR "ash fertiliz*" AND chemistry
- Wood ash* OR "ash fertiliz*" AND pH
- Liming* OR lime* AND water
- Liming* OR lime* AND ANC
- Liming* OR lime* AND chemistry
- Liming* OR lime* AND pH

På *Google scholar* gjordes förenklade sökningar för att kunna ta del av mer populärvetenskapliga publikationer, information från olika hemsidor och texter publicerade på både engelska och svenska. Där användes sökorden:

Askåterföring AND vatten

Wood ash* AND water

Ask* AND pH

Ask* AND ANC

Kalk* AND vatten

Kalk* AND pH

Skogsmarkskalkning

Kriterier för att inkludera studier i metaanalysen

Studiens relevans

Alla studier med redovisat data över askåterföring och kalkning på skogsmark och förändringar i den avrinnande ytvattenkemin togs med. Information om behandlingstyp, giva och en redogörelse för försökets genomförande samt ytvattnets kemiska sammansättning före och efter askåterföring krävdes. Metaanalysen begränsades geografiskt till Skandinavien för att få jämförbart klimat och marktyp. Även sammansättning av kalk/vedaska antogs jämförbar från dessa områden. Enbart studier baserade på vedaska från lokala värmeverk/förbränningsanläggningar användes.

Typer av studier

Studier med redovisad ytvattenkemi före samt efter askåterföring eller skogsmarkskalkning av hela eller delar av ett avrinningsområde inkluderades. Mätningarna på ytvattenkemin skall vara så pass omfattande att ANC skall kunna beräknas. Både långtids- och korttidsstudier togs med oberoende av när under de senaste decennierna studierna utfördes. Både studier som använt intilliggande, icke askåterförda/kalkade vattendrag som referens (här definierade som parförsök eller fristående referenser) och studier som använt tidsserier från det enskilda behandlade vattendraget innan behandling som referens (här definierade som tidsserier) inkluderades.

Urvalsstrategi

Vid utsökningen sorterades om möjligt sökresultatet efter relevans. Rubriken lästes för de 50 första resultaten vid varje sökning. För artiklar med relevanta rubriker lästes sammanfattningen (abstract). Referenslistan i de utvalda studierna lästes för att fånga upp ytterligare relevanta studier. Verktöget "citing articles" kopplad till *ISI Web of Knowledge* och *Scopus* databas användes för att finna relevanta studier som refererat till den aktuella artikeln. Reviewartiklar användes enbart för att finna referenserna till de ursprungliga studierna.

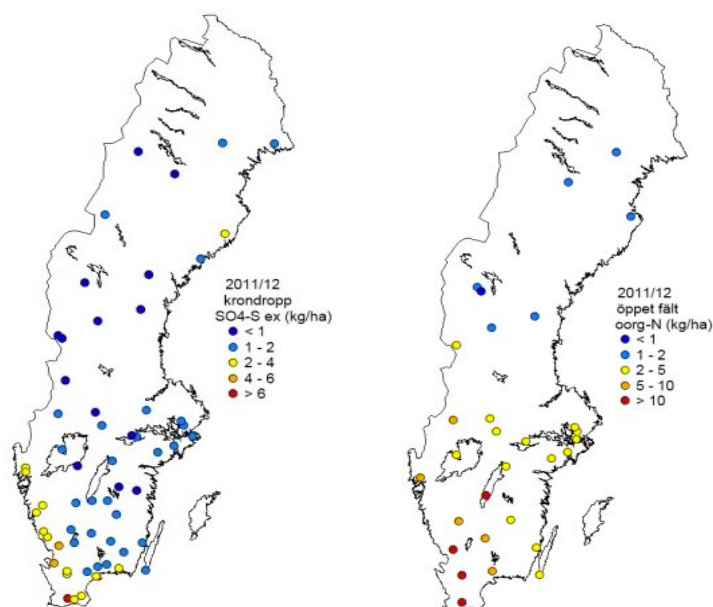
Kvalitetsurval

Enbart vetenskapliga primärstudier med mätdata på ytvatten både före och efter askåterföring/kalkning på skogsmark inom dess avrinningsområde inkluderades. Studier vars resultat bygger på modellberäkningar uteslöts.

Felkällor

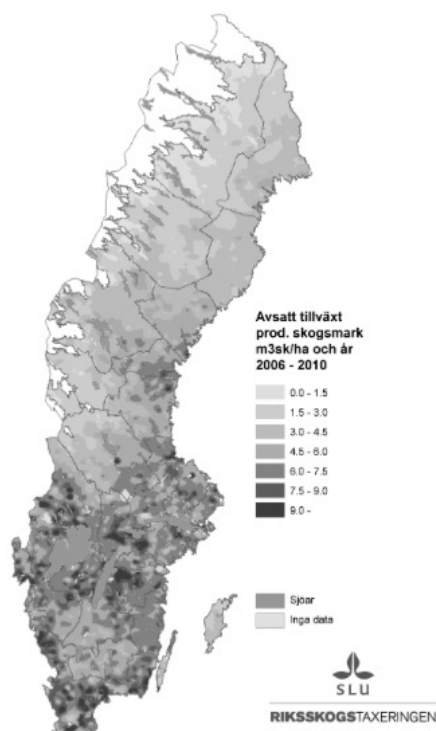
Försöken har utförts i olika geografiska områden, med olika typer av geologi, sur deposition, markanvändning etc. och med olika typer och givor av kalk och aska. Beskrivningen av avrinningsområdet var ibland bristfällig och det var svårt att avgöra andel in/utströmningsområde. Om behandlingen utförts från helikopter (låg precision i spridning) var det svårt att avgöra hur stor andel av utströmningsområdet och ytvattnet som direkt påverkats av behandlingen. Eventuella effekter av sådana brister diskuteras i samband med att metaanalysens resultat presenteras.

Viktiga parametrar som kan påverka resultatet är en öst-västlig gradient av ökande försurande nedfall (figur 4) och en nord-sydlig gradient med ökad naturlig försurning i och med högre tillväxt i söder (figur 5) (Nordin et al. 2009).



Figur 4 Antropogen deposition av $\text{SO}_4\text{-S}$ i krondropp (vänster, kg S/ha) och oorganiskt kväve på öppet fält (höger, kg N/ha) i Sverige under perioden 2011-2012 (Pihl-Karlsson et al. 2013).

Figure 4 Anthropogenic deposition of $\text{SO}_4\text{-S}$ in trough fall (left, kg $\text{SO}_4\text{-S}$) and inorganic nitrogen in bulk deposition at open field (right, kg N/ha) in Sweden during 2011-2012 (Pihl-Karlsson et al. 2013).



Figur 5 Skogens medeltillväxt ($\text{m}^3\text{sk/ha/år}$) under perioden 2006-2010 på produktiv skogsmark i Sverige (Skogsdata, 2013).

Figure 5 Average forest growth rate ($\text{m}^3\text{sk/ha/year}$) during the period 2006-2010 at productive forest land in Sweden Data from the Swedish University of Agricultural Sciences (Skogsdata, 2013).

Vad gäller deposition så är det viktigt att ta i beaktning vid vilken tidpunkt försöken anlades. Försök från 1980-talet hade en flerfaldigt högre deposition av svavelföreningar än vad nyligen anlagda försök haft. Minskningen i svaveldeposition har medfört att sulfathalten i svenska sjöar och vattendrag minskat drastiskt sedan 1980-talet (Löfgren et al. 2008; Bertills et al. 2007).

Dataurval

Följande data användes vid urvalet av studier som underlag för att gruppera studier med jämförbara försöksupplägg:

Ytvattenkemiska parametrar

I metaanalysen användes ytvattnets ANC som variabel för att testa om askåterförel/kalkning gett en behandlingseffekt (se Bakgrund). ANC i ytvatten beräknades enligt Reuss & Johnson (1986):

$$ANC = (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^{+} + Na^{+}) - (SO_4^{2-} + Cl^{-} + NO_3^{-}) \mu\text{ekv/l}$$

Alla redovisade koncentrationer i studierna räknades om till $\mu\text{ekv/l}$.

Endast studier med redovisade halter av Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} , SO_4^{2-} , Cl^{-} och NO_3^{-} eller redovisat ANC före respektive efter behandling har därför medtagits.

Försöksupplägg

Studierna grupperades efter följande försökstyper:

- Parförsök (referenser och behandlat område i anslutning till varandra)

- Fristående referenser (referenser i samma region som behandlat område, men inte i direkt anslutning till det).
- Tidsserier (mätningar före och efter behandling, men avsaknad av obehandlad referens)

Försöksperiod och geografisk position

Gamla försök var mer utsatta för svaveldeposition än nyligen anlagda försök. Försök i sydvästra Sverige och Norge har högre svaveldeposition och deposition av havssalter än resten av Skandinavien. Västliga försök har sedan lång tid tillbaka en högre naturlig förurning och dessa marker har en högre total aciditet är mer nordligt belägna försök.










Indelningar av försöken i kategorier

Askgivorna och kalkgivorna delades upp i lågdos, normaldos och högdos (tabell 2). Generellt beräknas askan ha 50 % av kalkverkan hos kalksten (Skogsstyrelsen 2013, Skogsstyrelsen 2006).

För att kalkverkan av aska och kalk skall bli jämförbar har askgivorna dubblerats jämfört med kalkgivorna i respektive kategori (se Bakgrund). I blandförsöken med både kalk och aska beräknades därför summan av hela kalkdosen och halva askdosen innan de grupperades i respektive kategori (tabell 2).

Tabell 2 Kategorisering baserat på behandling (aska, kalk eller blandat) och storleken på givan (låg-, normal-, eller högdos). OBS! Askdosen är omräknad till kalk där 2 ton aska motsvarar 1 ton kalk (se ovan).

Table 2 Treatment categories (ash, lime or both) and dose (low-, normal-, or high-dose). Note! The ash dose is recalculated to lime where 2 tons of ashes correspond to 1 ton of lime.

ASKA		KALK		BLANDFÖRSÖK (motsvarande kalkverkan)	
Lågdos 2-4 ton/ha =		Lågdos 1-2 ton/ha =		Lågdos blandförsök 1-2 ton/ha =	
Normaldos 4-12 ton/ha =		Normaldos 2-6 ton/ha =		Normaldos blandförsök 2-6 ton/ha =	
Högdos >12 ton/ha =		Högdos >6 ton/ha =		Högdos blandförsök >6 ton/ha =	

Lågdosens gränser för askåterföring grundar sig på Skogsstyrelsens rekommendation på en giva med 3 ton TS per hektar (Skogsstyrelsen 2008b).

Normaldosen av aska (4-12 ton TS aska per hektar) respektive kalk (2-6 ton TS per hektar) har grundats på de befintliga ask- och kalkgivorna i de olika försök som inkluderats i metaanalysen. Den övre gränsen är satt för att försök med extremt höga doser skall hamna i en egen kategori: "högdos".

I tabeller och figurer redovisas behandlingstypernas omfattning över avrinningsområdet enligt följande:

Inget angivet = hela avrinningsområdet behandlat, med undantag för större myrar

* = Torvmarker och utströmningsområden behandlade. Kan sammanfalla med hela avrinningsområdet

** = Hela avrinningsområdet behandlat. Extra stor giva på utströmningsområden

Beräkning av behandlingseffekt på ANC

Data bearbetades och sammanställdes i Excel Microsoft Office 2010. Valda delar av resultaten redovisas i form av stapeldiagram. Minitab® 16.2.4 användes för de statistiska analyserna. Variansanalys användes för att testa om variablerna var oberoende, hade likartad varians i varje grupp och om data var normalfördelat. Om dessa tre kriterier var uppfyllda utfördes ett t-test medan de ickeparametriska testen Mann-Whitney (2 grupper jämförs) eller Kruskal-Wallis (3 eller fler grupper jämförs) användes när så inte var fallet. Statistiskt signifikanta skillnader mellan grupper antogs föreligga om p-värdet < 0,05.

Följande frågeställningar testades för respektive försökstyp:

Parförsök

Frågeställning: Har ANC ökat mer i de behandlade bäckarna än i de obehandlade bäckarna vid tidpunkten från försökets början till försökets slut?

Metod: En differens beräknades mellan ANC-värdet i de behandlade och obehandlade bäckarna under referensperioden respektive efter behandling. Hänsyn tas till den naturliga återhämtningen och variationen som sker i den parade referensbäcken så att enbart förändringen som kan tillskrivas behandlingen återstår. Följande formel användes (Ekvation 1):

$$\begin{aligned} \text{Ekvation 1 } \Delta ANC &= \Delta ANC_{T2} - \Delta ANC_{T1} \\ &= (ANC_{\text{behandlad bäck } T2} - ANC_{\text{parad referensbäck } T2}) \\ &\quad - (ANC_{\text{behandlad bäck } T1} - ANC_{\text{parad referensbäck } T1}) \end{aligned}$$

T1 = tidpunkten vid försökets början, innan behandlingstillfället

T2 = tidpunkten vid försökets slut, 5-10 år efter behandlingstillfället (Brommeland, Hovland, Fugleliåsen: 1-3,5 år efter)

Hypotes: Skillnaden i ANC förväntas vara högre mellan behandlade och obehandlade bäckar efter behandlingstidpunkten än under perioden före behandling: $\Delta ANC_{T2} > \Delta ANC_{T1}$

Inom parförsöken inkluderades ett lågdosförsök, inga högdosförsök och 18 normaldosförsök. På grund av denna ojämna fördelning gjordes inga statistiska analyser på huruvida givan påverkade resultatet. Medelvärden för alla differenser i normaldosförsöken beräknades. Resultatet redovisades i ett stapeldiagram.

För normaldos gjordes följande beräkningar:

- Standardavvikelse för ΔANC i normaldos beräknades genom verktyget STDEV.
- Medelvärkets medelfel beräknades enligt följande formel:

$$Medelfel = \frac{STDEV}{\sqrt{N}}$$

N är antalet observationer med normaldos. Medelvärkets medelfel användes som felstaplar (+/- errorbars) i stapeldiagrammet med medelvärden för normaldos.

Fristående referenser

Frågeställning: Har ANC under försöksperioden ökat mer i de behandlade bäckarna än de obehandlade bäckarna, och har högdosförsök gett en större ökning än normaldosförsök vid tidpunkten från försökets början till försökets slut (13-16 år efter)?

Metod: I försök med provtagningar från fristående obehandlade vattendrag (referenser) och behandlade vatten är resultaten inte helt jämförbara och ingen sammanvägd differens kunde beräknas som i ”parförsök”. För de fristående referenserna redovisas därför enbart den absoluta förändringen av ANC i början respektive slutet av varje försöksperiod för varje enskilt vattendrag enligt följande formel (Ekvation 2):

$$\text{Ekvation 2 } \Delta ANC = ANC_{T2} - ANC_{T1}$$

där $T1$ = tidpunkten vid försökets början, innan behandlingstillfället för varje enskild bäck

$T2$ = tidpunkten vid försökets slut för varje enskild bäck

Denna absoluta förändring av ANC-värdet redovisades i ett stapeldiagram för varje enskilt vattendrag.

Bland försöken förekom inga lågdosförsök utan enbart normal- och högdosförsök samt fristående referensbäckar. Medelvärdet för ΔANC beräknades för normal-, högdos och fristående referenser var för sig.

Hypotes: Förändringen i ANC förväntas vara större i de behandlade bäckarna än i de obehandlade bäckarna. Förändringen förväntas även vara större i högdosförsöken än normaldosförsöken: $\Delta ANC_{högdos} > \Delta ANC_{normaldos} > \Delta ANC_{referenser}$

Tidsserier

Ingen jämförelse gjordes mellan den obehandlade referensperioden och behandlingsperioden. En jämförelse av ANC-värdet före respektive efter behandling blir missvisande då andra parametrar än aska/kalkbehandlingen påverkar tidsserien. Referensperioden är därför inte lämplig att jämföra med behandlingsperioden.

Resultaten i tidsserieförsöken redovisades därför enbart i ett stapeldiagram med värdet på ANC före respektive efter behandling för respektive försök.

Sammanslagning av försök med referensbäckar

Ett samlat resultat över alla inkluderade bäckar i parförsök och fristående referenser redovisades.

En genomsnittlig förändring för varje enskild bäck beräknades enligt ekvation 2. Det innebär att resultatet av denna sammanslagning representerar resultatet för olika tidsperioder (1-16 år) samt olika behandlingstyper och givor.

Frågeställning: Sett över alla behandlade bäckar för sig och alla referensbäckar för sig, är ökningen av ANC större i de behandlade bäckarna än i de obehandlade bäckarna? Baserat på samma bäckar, ger de olika doserna skilda resultat?

Hypotes: $\Delta ANC_{högdos} > \Delta ANC_{normaldos} > \Delta ANC_{referenser}$

Resultat

Nedan redovisas resultatet av litteraturstudien där en förteckning och beskrivning redogör för de försök som inkluderats. Därefter redovisas resultatet av metaanalysen.

Litteraturstudien

En fullständig förteckning är redovisad över alla försök som medtagits i metaanalysen (tabell 3).

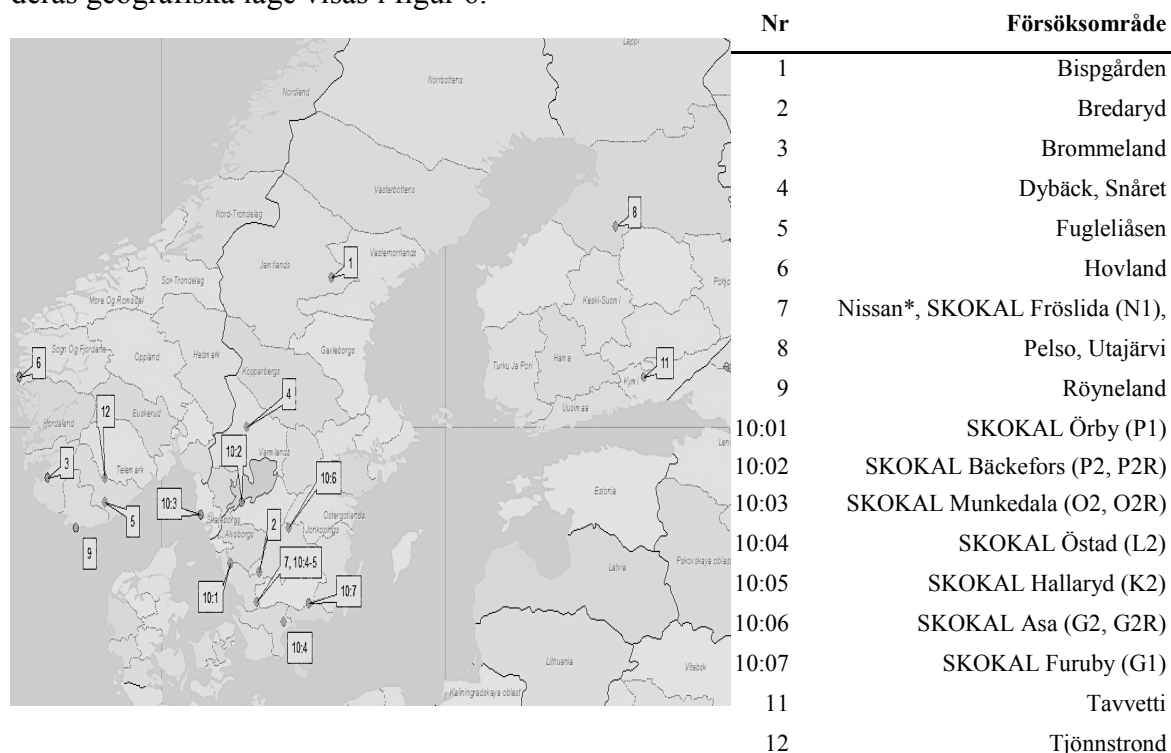
Tabell 3 Förteckning över försök som ingår i metaanalysen och referenser till publikationer som beskriver dem

Table 3 List of experiment in the meta-analysis and references to publications describing them.

Bispgården	Norström, S. H., Bylund, D., Vestin, J. L. K., Lundström, U. S. 2011. <i>Initial Effects of Wood Ash Application on the Stream Water Chemistry in a Boreal Catchment in Central Sweden</i> . Water Air Soil Pollut (2011) 221:123–136. Department of Natural Sciences, and Mathematics, Mid Sweden University, Sundsvall, Sweden.	Engineering
Bredaryd	Ring, E., von Bromssen, C., Losjo, K., Sikstriim, U. 2011. <i>Water chemistry following wood-ash application to a Scots pine stand on a drained peatland in Sweden</i> . - Forestry Studies Metsanduslikud Uurimused 54, 54-70. ISSN 1406-9954.	
Brommeland	Hindar, A. 2005. <i>Whole-catchment application of dolomite to mitigate episodic acidification of streams induced by sea-salt deposition</i> . Science of the Total Environment 343 (2005) 35–49. Norwegian Institute for Water Research, Norway.	
Dybäck	Fransman, B., Nihlgård, B. 1995. <i>Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in south sweden</i> . Water, Air and Soil Pollution 85: 895-900, 1995. Department of Ecology, Univeristy of Lund, Sweden.	
Fugleliåsen	Hindar, A., Wright, R. F., Nilsen, P., Larssen, T., Högbergeta, R. 2003. Effects on stream water chemistry and forest vitality after whole-catchment application of dolomite to a forest ecosystem in southern Norway. Forest Ecology and Management 180 (2003) 509–525.	
Hovland	se Brommeland	
IVL Nissan	Kronnäs, V., Westerberg, I., Zetterberg, T., Pröjts, J., Holmström, C., Stibe, L. 2012. <i>Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringsbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområden i brukad skogsmark - utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning</i> . Skogsstyrelsen rapport 6:2012. SSN 1100-0295 BEST NR 1845	

IVL ytvatten	Larsson, P-E., Westling, O. 1996. <i>Ytvatten i kalkade avrinningsområden. Årsrapport 1996, effektuppföljning av Skogsstyrelsens program för kalkning och vitaliseringsgödsling av skogsmark</i> . IVL Rapport B1279. Skogsstyrelsen, 1996.
Pelso	Piirainen, S., Domisch, T., Moilanen, M., Nieminen, M. 2013. <i>Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests</i> . Forest Ecology and Management 287 (2013) 53–66.
Röyneland	Hindar, A., Kroglund, F., Lydersen, E., Skiple, A., Høgberget, R. 1996. <i>Liming of wetlands in the acidified Lake Røynelandsvatn catchment in southern Norway: effects on stream water chemistry</i> . Can. J. Fish. Aquat. Sci. 53 : 985–993 (1996).
Snåret	Se Dybäck
Tavvetti	Se Pelso
Tjörnstrond	Traaen, T. S., Frogner, T., Hindar, A., Kleiven, E., Lande, A., Wright, R. F. 1997. <i>Whole-catchment liming at Tjörnstrond, Norway: An 11 year record</i> . Water, Air and Soil Pollution 94:163-180, 1997.
Utajärvi	Se Pelso

De inkluderade försöken i metaanalysen är utförda på olika platser i Skandinavien och deras geografiska läge visas i figur 6.



Figur 6 Försöksområdena i metaanalysen. *=Flera försök är förlagda till Nissandalen.

Figure 6 Experimental areas in the meta-analysis. *=Multiple experiments are performed in the Nissan-valley.

Antal försök som ingått i de olika försökstyperna baserat på giva och användning av aska och/eller kalk redovisas i tabell 4. En närmare beskrivning över försöksuppläggen och de geografiska områdena redovisas i tabell 5. Där information funnits tillgänglig redovisas även den kemiska sammansättning av den kalk och aska som ingått i försöken. Sammansättningen har delvis mycket stor varians mellan de olika försöken (tabell 6).

Tabell 4 Antal försöksområden (N) i metaanalysen fördelat på försökstyp (parförsök, fristående referenser, tidsserier) typ av behandling (aska, kalk, blandförsök) och giva (låg-, normal-, högdos) samt antalet referensbäckar.

Table 4 Number of experimental areas (N) in the meta-analysis, categorised in type of experiment (paired experiments, separate references and time series), type of treatment (ash, lime or both) and dose (low-, normal-, or high dose) and numbers of reference streams.

	Parförsök	Fristående referenser	Tidsserier
Aska lågdos	0	0	2
Aska normaldos	13	0	0
Aska högdos	0	0	0
Kalk lågdos	1	0	0
Kalk normaldos	7	9	0
Kalk högdos	0	0	1
Blandförsök lågdos	0	0	0
Blandförsök normaldos	0	5	0
Blandförsök högdos	0	3	0
<i>Totalt antal inkluderade i försök</i>	<i>21</i>	<i>17</i>	<i>3</i>
<i>Referenser utanför försöksområdena</i>		<i>13</i>	
<i>Totalt antal alla försök och referenser</i>	<i>54</i>		

Tabell 5 Behandling, giva, spridningsform och tidpunkt, andel av avrinningsområdet som behandlats samt information om avrinningsområdet för varje försöksområde.

Table 5 Treatment, dose, method and time for application, area of catchment treated and site description of the catchment.

Försöksområde	Behandling	Giva	Spridningsform och tidpunkt
Bispgården	Övervägande bottenaska, krossad	3 ton/ha	Barmark, september 2004
Bredaryd	Aska (botten+flyg)	3,1 ton/ha	Traktor, barmark, oktober 2004
Brommeland	Dolomitkalk	3 ton/ha	Helikopter, oktober 1999
Dybäck	Dolomitkalk	5 ton/ha	Helikopter, barmark, maj 1985
Fugleliåsen	Grovkrossad dolomitkalk	2,9 ton/ha	Barmark, september 1994
Hovland	Dolomitkalk	1,3 ton/ha	Helikopter, september 1998
Nissan Normaldos	Träaska+ krossad kalksten	2 ton aska+4 ton kalksten (tot 5,8-7,7 ton/ha)	Helikopter, vinter 1998
Nissan Normaldos*	Träaska+ krossad kalksten	2 ton aska+4 ton kalksten (tot 4,9-6,1 ton/ha)	Markspridning, vår 1999
Nissan Högdos**	Träaska+ krossad kalksten	som ovan, ytterligare 10,6-16 ton/ha i utströmningsområde	
Pelso	Träaska, se nedan för detaljer	5-6,5 ton/ha	Manuell spridning, 1997
Röyneland	Finkrossad kalksten	20 ton/ha på myrmark (0,79 ton/ha totalt)	
SKOKAL	Kalksten och dolomit (ca 50% CaO)	3 ton/ha	Helikopter och traktor
SKOKAL (IVL)	Se "SKOKAL"	Se "SKOKAL"	Se "SKOKAL"
Snåret	Flygaska	2,2 ton/ha	Barmark, maj 1988
Tavvetti	Se "Pelso"	Se "Pelso"	Se "Pelso"
Tjönstrond	Finkrossad kalksten	3 ton/ha	Helikopter, barmark, juni 1983
Utajärvi	Se "Pelso"	Se "Pelso"	Se "Pelso"

Tabell 5 Fortsättning från föregående sida

Table 5 Continuation from previous page

Försöksområde	% av avrinningsområdet som är behandlat	Områdesbeskrivning
Bispgården	100 %, men 5 meters kantzon mot bäck är lämnad	40 resp. 50 ha skogsbeklätt
Bredaryd	Enbart på torvmark (73 % av all torvmark, 34-49 % av hela avrinningsområdet) 5 meters kantzon mot bäck	Stormskadat 2005 Dikad torvmark. 4,9-7 ha
Brommeland	Hela avrinningsområdet, undantaget stora myr/bergmarker	Delvis ovan trädgränsen, magert jorddjup
Dybäck	Hela avrinningsområdet	Skogsbevuxen fastmark (liten del torvmark) 20 ha
Fugleliåsen	Hela avrinningsområdet	Barrskogsdominerat
Hovland	Hela avrinningsområdet, undantaget stora myr/bergmarker	Delvis ovan trädgränsen på magert jorddjup
Nissan Normaldos	Enbart på fastmark	
Nissan Normaldos*	Hela avrinningsområdet	
Nissan Högdos**	Hela avrinningsområdet	
Pelso	100% (enbart torvmark) 2 m kantzon mot dike	Torvmark med hög bonitet
Röyneland	Enbart myrar. 4 % (5,1 ha) av avrinningsområdet (1,3 km ²)	130 ha. Bergsterräng, myrmarker i dalar
SKOKAL	100 %. Större mossar/myrar undantagna. G1 är våtmarkskalkat	Mestadels fastmark (se nedan för avv. detaljer)
SKOKAL (IVL)	Se "SKOKAL"	Se "SKOKAL"
Snåret	Hela avrinningsområdet	Mestadels skogsbevuxen fastmark, 20 ha
Tavvetti	Se "Pelso"	Se "Pelso"
Tjörnstrond	Hela avrinningsområdet, utom direkt i dammar/vattendrag	25 ha (varav 3+1,5 ha damm) oproduktiv skogs/myrmark
Utajärvi	Se "Pelso"	Torvmark med låg bonitet

Tabell 6 Kemisk sammansättning hos aska och kalk som använts i de försök som ingår i metaanalysen.

Table 6 Chemical compositions of ash and lime in the studies included in the meta-analysis

		Ca	Mg	K	Na	Al
Aska (g/kg TS)	Bispgården	205,1	15,7	30,6	6,2	29,7
	Bredaryd	200	24	58	12	25
	Nissan	<i>ingen uppgift</i>				
	Piirainen (US, UW)	358	17	24		13
	Piirainen (GS, GW)	271	12	17		13
	Piirainen (UPS)	87	11	4		26
	Piirainen (Taavetti)	72-92	5-7	8-9		20-25
	Snåret	105	12	29	6	8
Kalk (vikts%)	Fuglelisåsen	23	12			
	Hovland och Brommeland	23	12			
	Röyneland	31	0,8			
	SKOKAL och SKOKAL(IVL)	32-35	2,8-3,9			
	SKOKAL och SKOKAL(IVL) N1 och P1	32-35	0-0,12			
	Tjörnstrond	<i>ingen uppgift</i>				
	Dybäck	20	5			

Metaanalysen

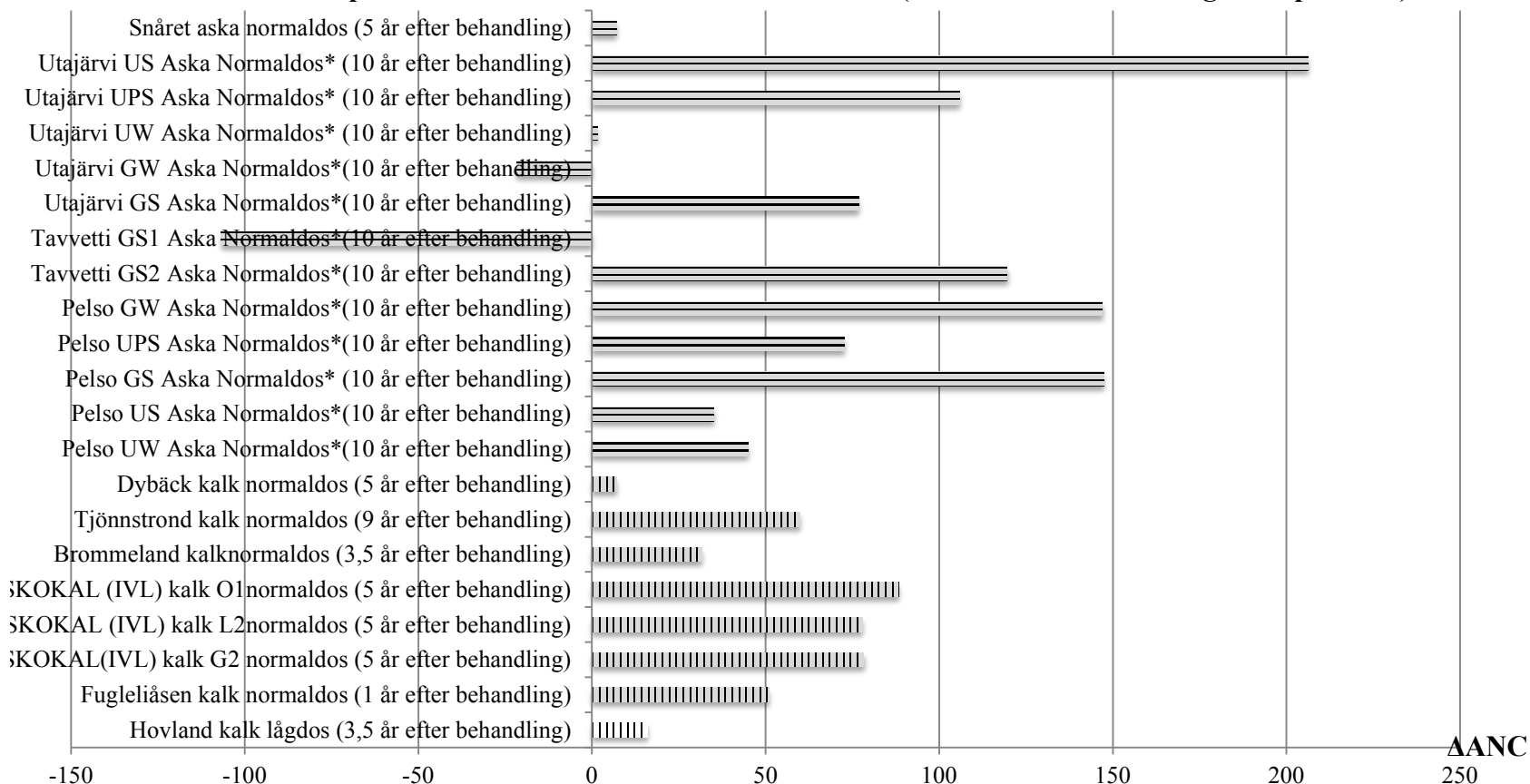
Resultaten redovisas i figurer grupperade efter de tre försökstyperna (parförsök, tidsserier och fristående referenser). Därefter redovisas figurer som inkluderar sammanslagna resultat.

Parförsök

Alla inkluderade försök visar på olika stora förändringar av ANC (figur 7). Två askåterföringsförsök (figur 7: Tavvetti, Utajärvi) visar på en minskning av ANC 10 år efter behandling. Medan 19 av 21 försök visar på en ökning av ANC upp till 10 år efter behandlingstidpunkten.

De behandlade bäckarna i parförsöken uppvisade ett statistiskt signifikant ($p=0,0249$, Mann-Whitney) högre ANC 5-10 år efter behandlingstillfället (Brommeland, Hovland, Fugleliåsen 1-3,5 år efter) jämfört med de obehandlade referensbäckarna (figur 8). Det enda lågdosförsöket gav en ökning av ANC på 16 $\mu\text{ekv/l}$. Ökningen för de 20 normaldosförsöken var i medeltal 61,5 $\mu\text{ekv/l}$ (medelfel= 15,3 $\mu\text{ekv/l}$)(figur 9). Då det inom parförsöken enbart inkluderas ett lågdosförsök och inga högdosförsök gjordes inga statistiska analyser på huruvida givan påverkat resultatet.

ΔANC i parförsök med obehandlade referensbäckar (antal år efter behandling inom parentes)



Figur 7 Förändring av ANC (µekv/l) efter 3,5-10 år efter behandling för alla parförsök.

Figure 7 Change in ANC (µekv/l) 3,5-10 years after treatment for all paired experiments.

|| Kalk lågdos (Lime low dose) 1-2 ton/ha

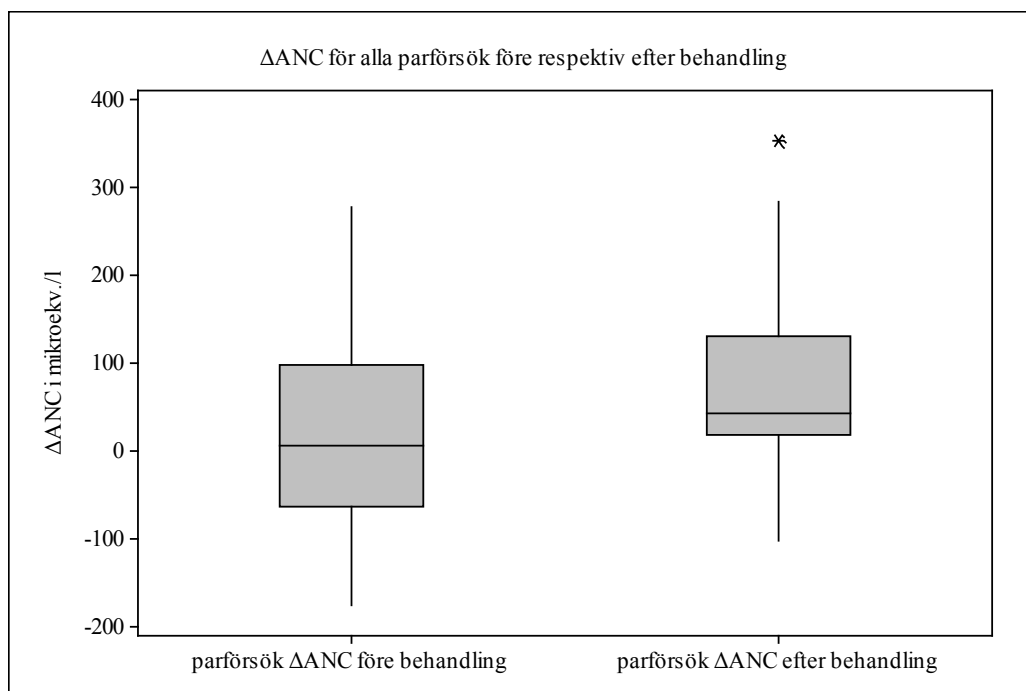
|| Kalk normaldos (Lime normal dose) 2-6 ton/ha

== Aska normaldos (Ash normal dose) 4-12 ton/ha

Inget angivet = hela avrinningsområdet behandlat, med undantag för större myrar. * = Torvmarker och utströmningsområden behandlade. Kan sammanfalla med hela avrinningsområdet. ** = Hela avrinningsområdet behandlat. Extra stor giva på utströmningsområden

No asterisk = Entire or most of the catchment area is treated but large wetlands are excluded * = Wetland and discharge areas are treated (can be equal to the entire catchment)

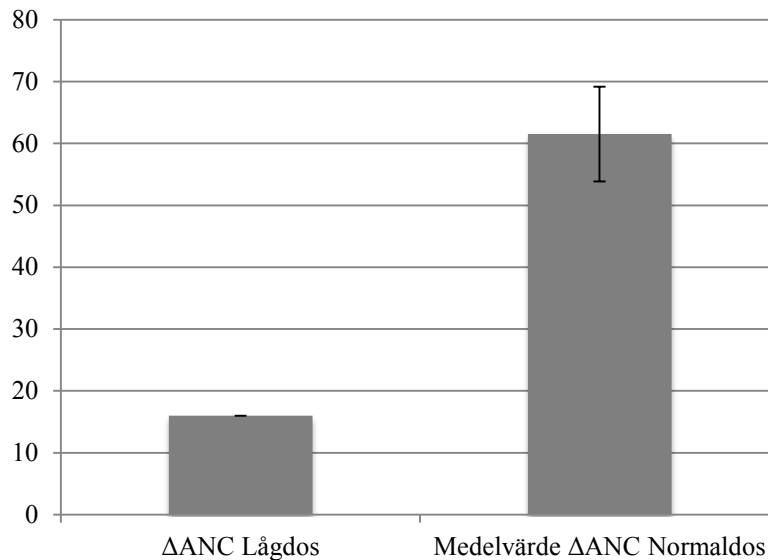
** = The entire catchment area is treated. Extra large dose on wetlands and discharge areas.



Figur 8 Skillnad i ANC ($\mu\text{eq/l}$) i de parade försöken (ekvation 1) före respektive efter behandling $N=21$. (*=avvikande värden på ΔANC som ej medräknats i medianen)

Figure 8 Difference in ANC ($\mu\text{eq/l}$) in the paired catchments (equation 1) before and after treatment. $N=21$. (*=Outlier value of ΔANC , not included in the median value)

Medelvärden för Δ ANC för alla parförsök (normaldos)

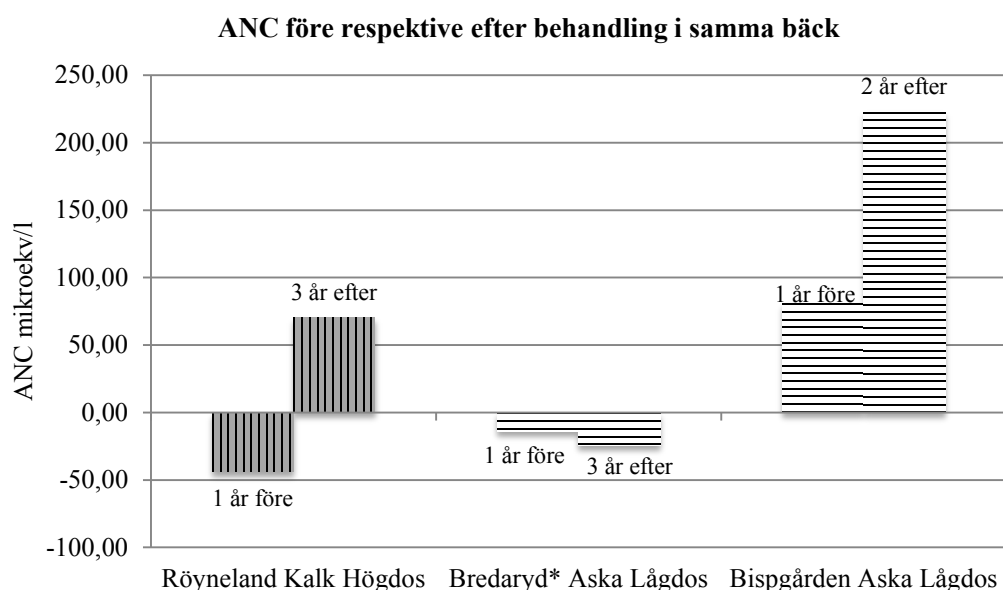


Figur 9 Skillnad i ANC (medelvärde, $\mu\text{eq/l}$) i de parade försöken (ekvation 1) före respektive efter behandling. OBS! " Δ ANC Lågdos" visar enbart resultaten från Hovlandstudien. $N_{\text{lågdos}} = 1$, $N_{\text{normaldos}} = 20$. Medelfelet (15,3 $\mu\text{eq/l}$) anges som intervall.

Figure 9 Difference in ANC (average values, $\mu\text{eq/l}$) in the paired catchments (equation 1) before and after treatment. Note! " Δ ANC Lågdos" (low dose) is represented by one experiment (Hovland). $N_{\text{lowdose}} = 1$, $N_{\text{normaldose}} = 20$. Standard error (15,3 $\mu\text{eq/l}$) is shown with error bar.

Tidsserier

Enbart tre försök utgjordes av tidsserier. Resultatet visar att det skett förändring av ANC i vattendragen (figur 10). I försöket med kalk (figur 10: Röyneland) har ANC gått från negativt till positivt. Askförsöken (figur 10: Bredaryd, Bispgården) visar minskande respektive ökande ANC under försöksperioden. Tidsserieförsöken utgörs av korta tidsserier, som sträcker sig 2-3 år efter behandling.



Figur 10 ANC (medelvärde för 1-3 år, µekv/l) före respektive efter behandling.

Figure 10 ANC (mean value for 1-3 year, µekv/l) before and after treatment for time series experiments.

≡ Aska lågdos (Ash low dose) 2-4 ton/ha

▨ Kalk högdos (Lime high dose) >6 ton/ha

Inget angivet = hela avrinningsområdet behandlat, med undantag för större myrar

* = Torvmarker och utströmningsområden behandlade. Kan sammanfalla med hela avrinningsområdet

No asterisk = Entire or the most of the catchment area is treated, but large wetlands are excluded if present.

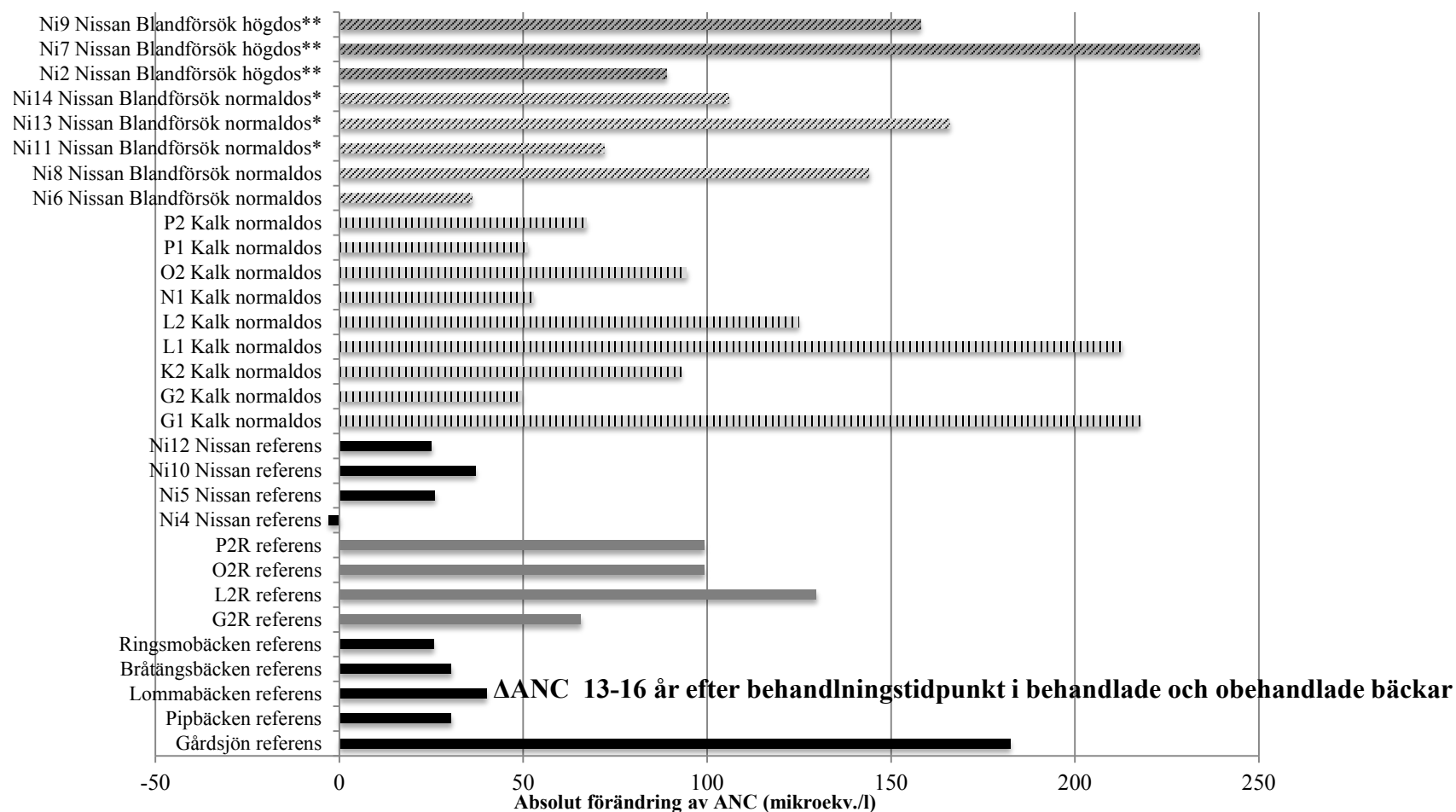
* = Wetland and discharge areas are treated (may be equal to the entire catchment area)

Fristående referenser

Alla behandlade områden och referenser (förutom Ni4) har fått ett ökat ANC i bäckarna under försöksperioden (figur 11). I normaldosförsöken ökade ANC i genomsnitt med 106 µekv/l, medan det i högdosförsöken ökade med i genomsnitt 160 µekv/l. Även referenserna ökade sitt ANC med i genomsnitt 61 µekv/l (figur 12).

För de fristående referenserna är ökningen av ANC statistiskt signifikant ($p=0,01$) högre för de behandlade bäckarna än för referenserna 13-16 år efter behandlingstidpunkten.

Högdosförsöken gav även en statistiskt signifikant ($p=0,022$) större ökning av ANC än normaldosförsöken (figur 12). Försöken med fristående referenser visar att effekterna är långsiktiga, då de sträcker sig över långa tidsperioder (13-16 år)(figur 11).

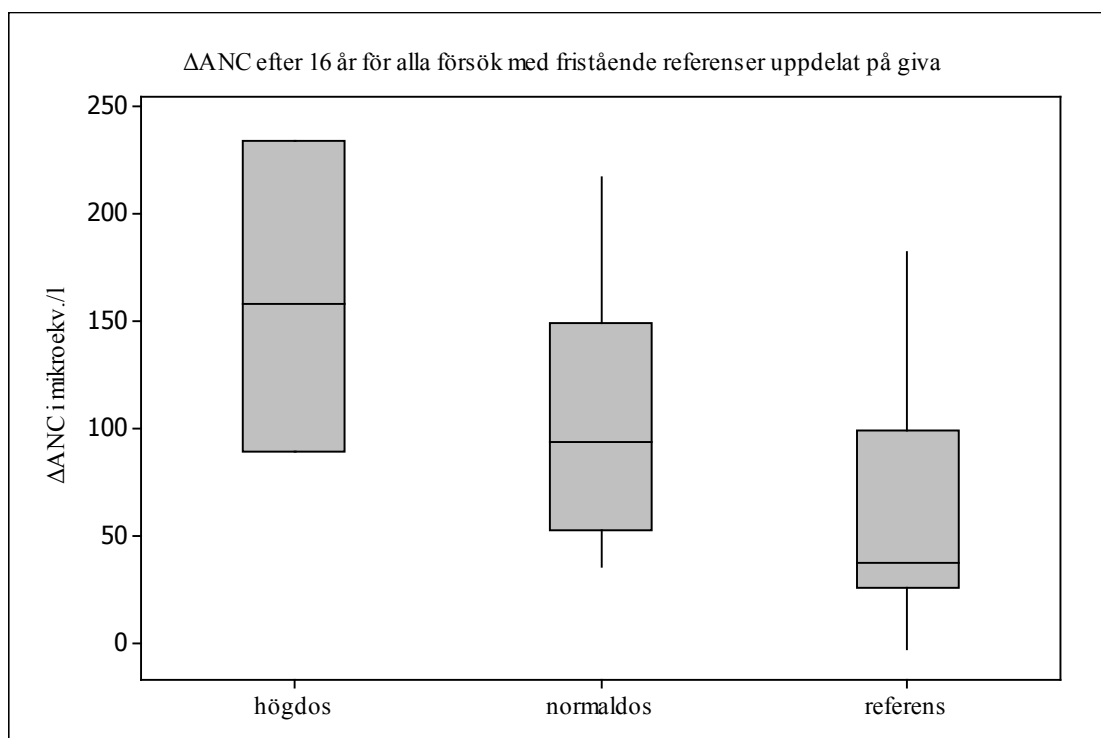


Figur 11 Förändring i ANC 13-16 år efter behandling i försöken med fristående referenser.

Figure 11 Change in ANC 13-16 years after treatment in the experiments with separate references.

Teckenförklaring på följande sida. Legend on the next page

- ▨ Blandförsök högdos (*mixed ash and lime high dose*) >6 ton/ha kalkverkan
 - ▨ Blandförsök normaldos (*mixed ash and lime normal dose*) 2-6 ton/ha kalkverkan
 - ▨ Kalk normaldos (*Lime normal dose*) 2-6 ton/ha
 - Fristående referens (*Separate reference stream*)
 - Referensbäck i parastudie (*Reference stream in paired catchment studies*)
- Inget angivet = hela avrinningsområdet behandlat, med undantag för större myrar
 * = Torvmarker och utströmningsområden behandlade. Kan sammanfalla med hela avrinningsområdet
 ** = Hela avrinningsområdet behandlat. Extra stor giva på utströmningsområden.
 No asterisk = Entire or most of the catchment area is treated, but large wetlands are excluded
 * = Wetland and discharge areas are treated (can be equal to the entire catchment)
 ** = The entire catchment area is treated. Extra large dose on wetlands and discharge areas



Figur 12 Förändring i ANC ($\mu\text{ekv/l}$) 13-16 år efter behandlingstidpunkt i försök med fristående referenser uppdelat på olika givor. $N_{\text{högdos}}=3$, $N_{\text{normaldos}}=14$, $N_{\text{referenser}}=13$.

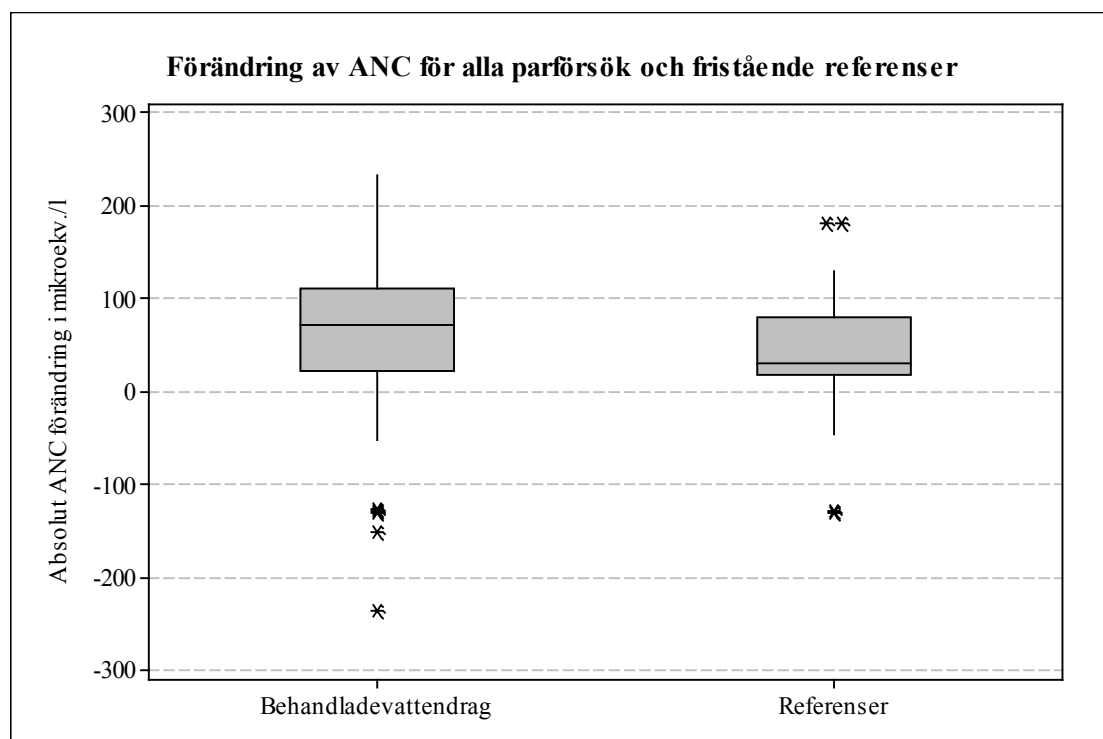
Figure 12 Change in ANC ($\mu\text{ekv/l}$) 13-16 years after treatment in experiment with separate references grouped by doses. $N_{\text{highdose}}=3$, $N_{\text{normaldose}}=14$, $N_{\text{references}}=13$.

Alla inkluderade försök

Ökningen av ANC i avrinnande ytvatten är statistiskt signifikant ($p=0,0137$, Mann-Whitney-test) högre i avrinningsområden behandlade med aska eller kalk jämfört med avrinnande ytvatten från obehandlade områden (figur 13) sett över alla bäckar som inkluderats i parförsök och försök med fristående referenser. Medianen för ΔANC bland de behandlade vattendragen är $+72 \mu\text{ekv/l}$ och för referenserna $+31 \mu\text{ekv/l}$ (figur 13).

Observera att gruppen med behandlade vattendrag återspeglar medianvärdet av ΔANC för alla behandlade bäckar i parförsök och fristående referenser med olika lång tid efter behandlingstidpunkten, behandlingar och givor. Referenserna återspeglar medianvärdet av ΔANC i alla obehandlade referensbäckar som inkluderas i

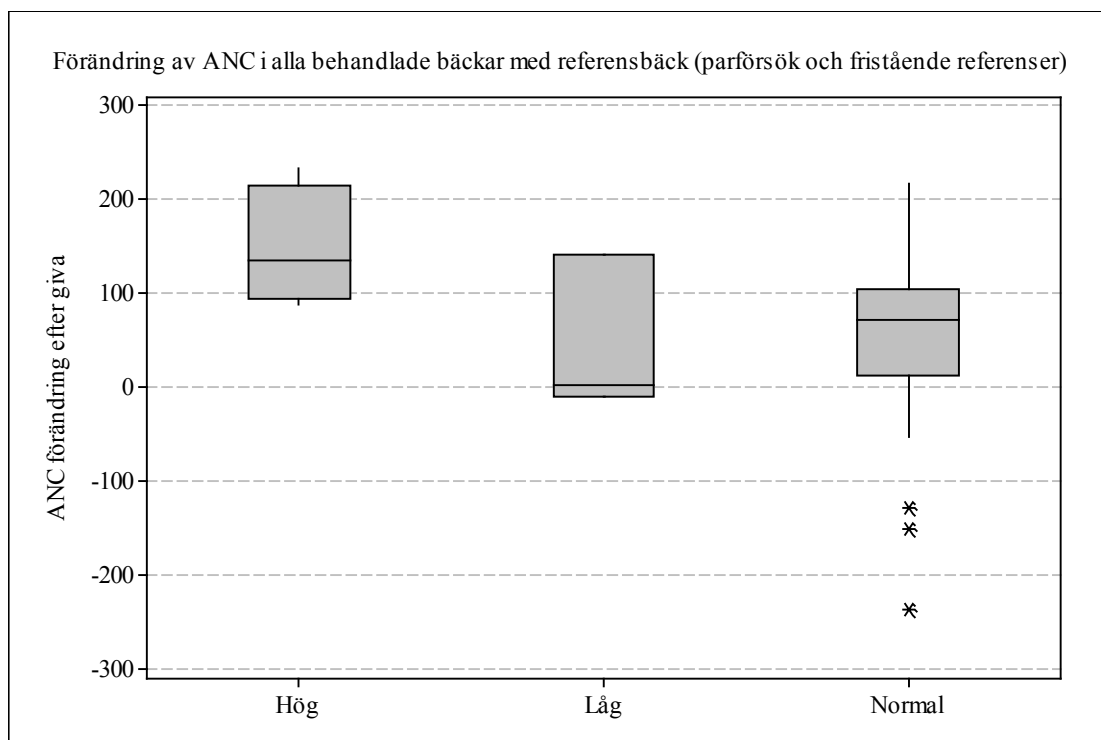
parförsöken samt alla fristående referensbäckar, under olika långa tidsperioder och på olika geografiska platser.



Figur 13 Förändring i ANC ($\mu\text{ekV/l}$) för alla behandlade bäckar och obehandlade referensbäckar (parförsök och fristående referenser). Förändringen beräknas på förändringen i varje enskild bäck. Det representerar olika långa tidsperioder och olika behandlingstyper. $N_{\text{behandlade vattendrag}}=70$. $N_{\text{Referenser}}=38$. (*=avvikande värden på ΔANC som ej medräknats i medianen)

Figure 13 Change in ANC ($\mu\text{ekV/l}$) for all treated streams and reference streams (paired experiments and separate references). The change is calculated on the change in every single stream, representing different time period after treatment and treatment types. $N_{\text{treated streams}}=70$. $N_{\text{references}}=38$. (*=outlier value of ΔANC , not included in the median value)

Medianen för ökningen av ANC i högdosförsöken var $+136 \mu\text{ekV/l}$, för normaldosförsöken $+72 \mu\text{ekV/l}$ och för lågdosförsöken $+4 \mu\text{ekV/l}$ (Figur 14). Skillnaden är statistiskt signifikant, men ett Kruskal-Wallis test visar att de olika givorna endast förklarar ca 5 % ($R^2=0,047$) av variationen. Storleken på givan har därmed liten inverkan på förändringen av ANC sett över alla bäckar som inkluderas i parförsök och fristående referenser (figur 14).



Figur 14 Förändring i ANC ($\mu\text{ekv/l}$) efter 13-16 år för alla behandlade bäckar och obehandlade referensbäckar (parförsök och fristående referenser) uppdelat efter storleken på givan (Hög-, Låg-, Normaldos). $N_{\text{Högdos}}=4$. $N_{\text{Lågdos}}=3$. $N_{\text{Normaldos}}=33$. (*=avvikande värden på ΔANC som ej medräknats i medianen)

Figure 14 Change in ANC ($\mu\text{ekv/l}$) after 13-16 years for all treated streams and reference streams (paired experiments and separate references). Grouped by size of the dose (High-, low-, and normal dose). $N_{\text{highdose}}=4$. $N_{\text{lowdose}}=3$. $N_{\text{normaldose}}=33$. (*=outlier value of ΔANC , not included in the median value)

Diskussion

Vad visar resultaten?

Parförsök och fristående referenser visar att askåterföring och/eller kalkning på skogsmark kan ge en signifikant ökning av ytvattnets ANC. Ett Mann-Whitney test visade att medianen av ökningen bland de behandlade vattendragen var 2,3 gånger så stor som ökningen bland referenserna (+72 $\mu\text{ekv/l}$ respektive +31 $\mu\text{ekv/l}$, $p=0,0137$). Slutsatsen är att behandling av avrinningsområdet med aska eller kalk påverkar syrabaskemin i avrinnande vattendrag. Tidsperioden då denna ökning av ANC registrerats varierar från 1-16 år efter behandlingstidpunkten. Merparten av försöken (42 av 54) sträcker sig över en tidsperiod på 10-16 år efter behandlingstidpunkten. Basverkan kan därför anses vara långsiktig, och kan särskiljas från den naturliga återhämtningen som skett under tidsperioden. Det är dock viktigt att komma ihåg att resultaten innefattar försök med extremt höga givor och försök där även torvmarker och utströmningsområden är behandlade. Låga givor på enbart fastmark ger i denna metaanalys inte någon påtaglig ökning av ANC (se Hovland i figur 7).

Den naturliga återhämtningen har varit olika stor på olika platser. I de försök som var belägna i sydväst, ex SKOKAL-områdena (Löfgren et al. 2008), har depositionen under lång tid varit mycket hög, och därmed har även den naturliga återhämtningen spelat en större roll än vad den gjort i försök som varit belägna i nordöst (Piirainen 2013). Sett på enbart SKOKAL-försöken så har effekten av den naturliga återhämtningen under de 16 år som försöken pågått delvis suddat ut eventuella effekter från skogsmarkskalkningen. Dessa försök är genomförda med relativt låga doser (3 ton kalk/ha) och författarna drar slutsatsen att om kalkning skall ge någon betydande effekt på syrabaskemin så måste doserna öka (Löfgren et al. 2008).

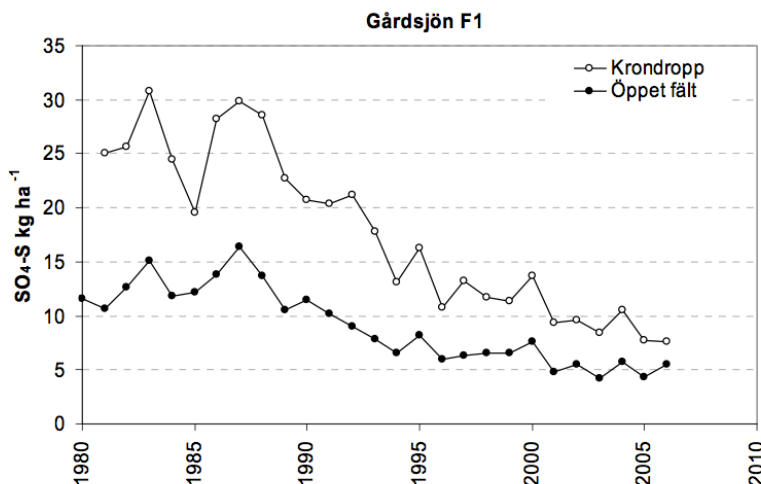
Askans sammansättning och tidpunkt för när försöket anlades

Askans i redovisade försök är enbart ren vedaska, baserad på biobränslen från barrskogar i Sverige, Norge och Finland. Trots det så är askans kemiska sammansättning skiftande (tabell 6). Askans kemiska grundsammansättning, det vill säga mängden basverkande ämnen, påverkar effekten (tabell 6, Steenari et al. 1999), men även dess utvinnings- och härdningsmetod, vid vilken temperatur askan förbränts, hur mycket syre och vatten som tillförts samt partiklarnas storlek vid granuleringen påverkar (Steenari & Lindqvist 1997; Steenari et al. 1999).

Vid försöken i Tavvetti i södra Finland (Piirainen 2013) användes aska med en avvikande sammansättning. I jämförelse med avrinningsområdet vid Utajärvi, som hade liknande markförhållanden och bonitet som Tavvetti, så innehöll askan som användes vid Tavvetti 70 % mindre Ca, 50 % mindre K, 55 % mindre Mg och 61 % mindre S (tabell 6). Skillnaden på ytvattnets ANC är stor i de olika försöken (figur 7). Piirainen visar i sin studie vikten av askans kemiska sammansättning och dess tillverkningsprocess för dess påverkan på det avrinnande ytvattnet (Piirainen 2013).

Oavsett askans sammansättning så är tidpunkten för när försöken anlades av betydelse. Depositionen av försurande svavel var under slutet av 1900-talet mycket högre än idag och både mark och ytvatten var mer försurade (figur 15)(Löfgren et al. 2008). Det innebär att en del av den basverkande effekten från behandlingen troligtvis förbrukats av den försurande depositionen. Även markens totala aciditet, som i hög grad bestäms av vegetationens försurande inverkan genom ackumulering av organiskt material, är dock vanligtvis så hög att ingen, eller väldigt liten, effekt kan påvisas i

ytvattnets ANC (Löfgren et al 2008). Dessa faktorer överskuggar troligtvis effekterna från en eventuell askåterföring. Ett exempel på det är ask- och kalkförsöken från Snåret och Dybäcken (Fransman & Nihlgård 1995) som gav obetydlig förändring på ytvattnets ANC. Försöket anlades 1985 på marker med hög aciditet och i en tid då depositionen av försurande svavel var betydligt högre än idag (figur 15).



Figur 15 Årligt nedfall av sulfatsvavel i Gårdsjön, F1, i sydvästra Sverige under perioden 1980-2006 (Löfgren et al. 2008).

Figure 15 Annual deposition of SO₄-S in Gårdsjön, F1, in south west of Sweden during the period 1980-2006 (Löfgren et al. 2008).

Försökens geografiska läge

Även idag förekommer marker med hög aciditet, framför allt i sydvästra delen av Skandinavien där skogens tillväxt sedan länge varit betydligt högre än i nordost. Detta har byggt upp en högre aciditet i marken på grund av den naturliga försurningen och ackumulering av organiskt material. Den antropogena depositionen har sedan industrialiseringen varit hög och är fortfarande förhöjd. Detta har bidragit ytterligare till aciditeten i dessa områden. Därför krävs större givor med större basverkan för att askåterföring på skogsmark skall minska markens aciditet och ge påtaglig överskottseffekt på syra-baskemin i det avrinnande ytvattnet i dessa utsatta områden. Försökens geografiska läge påverkar därmed resultatet. Det är dock i dessa områden, med ett allt intensivare skogsbruk och en bakomliggande försurningsproblematik, som askåterföring skulle ge mest betydelsefull effekt.

Utifrån metaanalysen kan man inte påvisa vilka yttre faktorer som påverkar förändringen av ANC. Men en geografisk jämförelse mellan det syd-västliga norska försöket i Brommeland (Hindar 2005) och det nordöstliga försöket Bispgården i Jämtland (Norström 2011) (63° breddgraden) visar den principiella gradienten. Både Brommeland och Bispgården är utförda på fastmark och tidsperioden sträcker sig över 3 respektive 3,5 år. I Brommeland var depositionen av svavel mer än 3 gånger så hög som i Jämtland år 1999 när försöken anlades (Naturvårdsverket 2012; Hindar 2005). Lågdosförsöket i Bispgården visar på en ökning av ANC på 143 µekv/l medan normaldosförsöket i Brommeland visar på en ökning av ANC på enbart 33,7 µekv/l. Det är rimligt att anta att den förhöjda sura depositionen samt den sydvästliga markens höga aciditet via den naturliga försurningen har en påverkan på dessa två försöks stora skillnad.

Betydelsen av torvmark och behandlingens areella omfattning

Stora arealer torvmark i anslutning till avrinnande ytvatten påverkar resultaten. Det är väl vedertaget att organiskt material i torvmarker har hög katjonbyteskapacitet (Magnusson 2013). Vid askåterföring kommer den övervägande delen av askans baskatjoner att adsorberas till katjonbytarna i det organiska materialet och H^+ -joner kommer att frigöras och tillföras ytvattnet. Detta minskar askåterföringens effekt på det avrinnande ytvattnet, men basmättnadsgraden i torvmarken ökar. Vid en eventuell framtida, ytterligare, askåterföring på samma areal föreligger en större chans att ytvattnet får ett ökat ANC. Detta gäller främst i avrinningsområden med små arealer torvmarker, då katjonbyteskapaciteten är stor i förhållande till den basverkande effekten från askan.

Några försök på torvmark utskiljer sig från resten av resultatet. I askåterföringsförsöket på torvmark i Bredaryd (Ring et al. 2011) visas en ökad aciditet efter försöksperioden. En del av denna aciditet kan förväntas härstamma från de stora, nyligen dikade, torvmarker som omger avrinningsområdet. Enligt författarna tillförde askan en stor mängd SO_4^{2-} som direkt minskade ANC i ytvattnet. Ett år efter behandling ökade koncentrationen av SO_4^{2-} från 0,03 till 0,11 $\mu\text{mol/l}$, för att två år efter behandling återgå till 0,02 $\mu\text{mol/l}$ (Ring et al. 2011). Även i Piirainens studie förekommer en plötslig och tillfällig minskning av ANC på två försök (Piirainen et al. 2013, Utajärvi GW & Taavetti GS1) även dessa försök utmärker sig jämfört med övriga att halten av SO_4^{2-} är kraftigt förhöjd året efter behandlingen, för att senare återgå till mer normala värden. Att askåterföring kan ge kraftigt förhöjda halter av SO_4^{2-} har även rapporterats i tidigare studier av Nilsson & Lundin (1996) på torvmarker och av Norström et al. (2011) på fastmarker. Dessa effekter är kortsiktiga, och effekten blir därför mer tydlig i korttidsstudier än långtidsstudier (Ring et al. 2011, Piirainen et al. 2013).

Man kan inte utifrån denna metaanalys dra slutsatsen om huruvida askåterföring skulle minska ANC i avrinnande ytvatten från torvmarker. Däremot kan denna metaanalys visa på betydelsen av en behandlad och en obehandlad torvmark. I Nissanområdet (figur 11, stapel 1-3 respektive stapel 6-8 uppifrån räknat) åskådliggörs detta. Dosering med högdos på enbart fastmark (Nissan blandförsök högdos) gav en genomsnittlig ökning av ANC med 90 $\mu\text{ekv/liter}$, medan dosering med högdos på hela arealen inklusive myrmark (Nissan blandförsök högdos*) gav en genomsnittlig ökning med 115 $\mu\text{ekv/liter}$. Detta tyder på att det organiska materialet i utströmningsområdena adsorberar en stor del av den basverkande effekten från askan och kalken, men är dosen tillräckligt hög och även utströmningsområdena inkluderas i behandlingen erhålls ändå en tydlig effekt på ytvattnets ANC. Observera att ovan nämnda försök är högdosförsök. Vid rekommenderad normaldos, < 6 ton/ha och omloppstid, kan man i praktiken inte ”mätta” jonbyteskomplexet i en torvmark med hjälp av askåterföring. Men upprepade, höga doser, av askåterföring kan ändå anses vara verksamma för att på sikt höja ytvattnets ANC.

Samma principiella skillnad syns i de två jämförbara avrinningsområdena G1 respektive G2 (figur 11). G1, som är våtmarksbehandlat, har en över 4 gånger så stor ökning av ANC jämfört med G2 där enbart fastmarken behandlats (Löfgren et al. 2008).

Påverkan av givans storlek

Metaanalysen visar att en större giva ger en större effekt, på ett annars jämförbart avrinningsområde. Betydelsen av givans storlek framgår av försöken med fristående referenser (figur 12). Det föreligger en statistisk signifikant skillnad mellan de olika doserna (figur 12). Stora skillnader i avrinningsområdenas karaktärer innebär att variationen mellan försöksområdena är mycket stor. I Tavvetti och Utajärvi, med flera försök inom samma område och med samma giva, fick man mycket varierande resultat och i vissa fall till och med en minskning av ANC 10 år efter behandling (figur 7, se diskussion ovan). Storleken på givan förklarar enbart ca 5 % av den totala variansen och andra faktorer har följaktligen mycket större betydelse för effekten i ytvatten.

Generella slutsatser och rekommendationer

Effekten på ytvattnets ANC är komplex och utifrån denna metaanalys kan man inte avgöra hur stor del av förändringen av ANC i ytvatten som kan tillskrivas behandlingen av aska och/eller kalk. Askans sammansättning, storleken på givan, markens aciditet, syradepositionens storlek, behandlingens areella omfattning, andel torvmark etc. är viktiga parametrar som avgör om det kan förväntas någon påtaglig effekt på avrinnande ytvatten efter behandling av skogsmarken med aska eller kalk.

Den största, och mest betydande ökningen av ytvattnets ANC i de olika försöken står den naturliga återhämtningen för (referenser i svarta och grå staplar i figur 11). Denna återhämtning är sedan länge känd och pågår i hela Skandinavien (Löfgren et al. 2008; Bertills et al. 2007; Monteith et al. 2007; Skjelkvaa 2007). Figur 13 visar den sammanvägda ökningen av ANC bland alla behandlade och obehandlade bäckar, de obehandlade har en statistisk signifikant ökning av i genomsnitt +31 µekv/l. Denna relativt stora ökning är betydande, och beror enbart på yttre faktorer som inte kan tillskrivas någon behandling (figur 13). Som en del av ökningen i de behandlade bäckarna återfinns denna naturliga återhämtning och man kan inte utifrån denna metaanalys med säkerhet avgöra hur stor roll behandlingen och hur stor roll yttre faktorer har i förändringen av ANC.

I de fall det visas en tydlig ökning av ytvattnets ANC, både efter behandling med kalk eller aska och i obehandlade bäckar, så kan slutsatsen dras att förändringen är stabil och långsiktig. 42 av 54 försök redovisar resultat från 10-16 år efter behandlingstidpunkten och förändringarna är stabila under hela tidsperioden. Detta gäller både ask- och kalkbehandlade områden samt referenser. Av behandlade långtidsförsök visar alla utom två (Utajärvi GW, Taavetti GS1 (Piirainen, 2013)) på en ökning av ANC. Ökningen var i genomsnitt + 108 µekv/liter bland de behandlade bäckarna över hela tidsperioden.

För att uppnå det nationella miljömålet ”bara naturlig försurning” kan askåterföring vara en lämplig metod, framför allt vad gäller markkemin på skogsmarkens näringsstatus. Aska rekommenderas idag för att återföra baskatjoner och behålla en god markkemi. Skall askåterföring rekommenderas för en vidare måluppfyllelse, i syfte att även det avrinnande ytvattnets syra-baskemi skall få en önskvärd effekt och öka ytvattnets ANC så måste givorna öka till mer än dagens rekommendationer på 3 ton/ha (6 ton/ha och omloppstid) (Skogsvårdslagen 2013; Skogsstyrelsen 2006). Det är även viktigt att hela avrinningsområdet inklusive torvmarker och utströmningsområden behandlas. Idag rekommenderas inte askåterföring närmare än 25 meter från vattendrag och våtmarker (Skogsvårdslagen 2013) på grund av risken

för urlakning av näringsämnen och tungmetaller till grund- och ytvatten. Men denna risk har av flera bedömts som mycket liten (Piirainen 2013; Ring et al. 2011; Nilsson & Lundin 1996). Vill man åstadkomma positiva effekter av askåterföring på ytvattnets syra-baskemi så måste givorna öka och de torvklädda arealerna, i nära anslutning till vattendrag, inkluderas i behandlingen. Denna metaanalys visar vikten av en stor giva, och att hela utströmningsområdet inkluderas i behandlingen, speciellt där det förekommer stora arealer torvmark.

Metaanalysen visar att en behandling med aska och kalk ger likvärdig basverkan på ytvattnet och är behandlingen tillräckligt omfattande så får avrinnande ytvatten en statistiskt signifikant och långsiktig ökning av ANC. Slutsatserna i detta arbete skall dock användas med försiktighet då det i flera fall råder bristfällig information om avrinningsområdena och försöken skiljer sig åt i både tid och rum. Informationen om behandlingens omfattning var ofta vag och om behandlingen utförts från helikopter (låg precision i spridning) går det ej att avgöra hur stor andel av utströmningsområdet och ytvattnet som direkt påverkats av askan eller kalken. Eventuella effekter av sådana ”precisionsbrister” gör det svårt att avgöra vilka resultat i denna studie som kan tillskrivas behandlingen och vilka yttre faktorer som har påverkat syra-baskemin.

Men hypotesen kan förkastas och man kan genom denna metaanalys ändå fastslå att det föreligger ett statistiskt signifikant samband mellan askåterföring och ytvattnets ANC. Denna metaanalys är ett första steg i en djupare förståelse för hur askåterföring kan ge önskade effekter på både tillväxt, markkemi och det avrinnande ytvattnets kemi.

Mer forskning behövs med högre askgivor och i avrinningsområden med mer likvärda egenskaper, och i mer kontrollerade försöksformer där andra parametrar som påverkar ytvattenkemin kan kontrolleras eller elimineras.

Referenser

- Akselsson, C., Westling, O., Larsson, P.-E., and Petersson P. (2000). Markvatten, barrkemi och träd tillväxt efter behandling med olika doser och sorter av kalk. Rapport B1386. Aneboda: IVL.
- Andersson, S., Hildingsson, A. (2004) Effekttuppföljning skogsmarkskalkning – tillväxt och trädvitalitet, 1990-2002. Rapport 1100-0295; 2004:1. Jönköping: Skogsstyrelsen 2004.
- Arvidsson, H., & Lundkvist, H. (2003). Effects of crushed wood ash on soil chemistry in young Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 176(1–3), 121–132.
- Augusto, L., Bakker, M. R., & Meredieu, C. (2008). Wood ash applications to temperate forest ecosystems—Potential benefits and drawbacks. *Plant and Soil*, 306(1–2), 181–198.
- Chapman, P. J., Clark, J., Reynolds, B., Adamson, J. K. (2008) The influence of organic acids in relation to acid deposition in controlling the acidity of soil and stream waters on a seasonal basis. *Environmental Pollution*, Volume 151, Issue 1, Pages 110–120.
- DeCoster, J. (2009). Meta-Analysis Notes. Institute for Social Science Research University of Alabama, 2009.
- Egnell, G., Nohrstedt, H.-Ö., Weslien, J., Westling, O., Örlander, G. (1998). Miljökonsekvensbeskrivning (MKB) av skogsbränsleuttag, asktillförsel och övrig näringskompensation. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295
- Energimyndigheten. (2013-06-04). Mål rörande energianvändning i Sverige och EU. <http://www.energimyndigheten.se/sv/Offentlig-sektor/Tillsynsvagledning/Mal-rorande-energianvandning-i-Sverige-och-EU/> [2013-11-04]
- Eriksson & Börjeson (1991). Vedaska i skogen. Vattenfall, UB 1991/46
- Fransman, B., Nihlgård, B. (1995). Water chemistry in forested catchments after topsoil treatment with liming agents in south Sweden. *Water, Air and Soil Pollution* 85: 895-900, 1995. Department of Ecology, University of Lund, Sweden.
- Geibe, C. E., Holmström, S. J. M., van Hees, P. A. W., & Lundström, U. S. (2003). Impact of lime and ash applications on soil solution chemistry of an acidified podzolic soil. *Water, Air, & Soil Pollution: Focus*, 3(4), 77–96.
- Gustafsson, J.-P., Karlton, E., Lundström, U., Westling, O. (2001). Urvalskriterier för bedömning av markförsurning. Rapport 11D:2001. Temaserie: Markförsurning & Motåtgärder. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.
- Hindar, A. (2005). Whole-catchment application of dolomite to mitigate episodic acidification of streams induced by sea-salt deposition. *Science of the Total Environment* 343 (2005) 35–49. Norwegian Institute for Water Research. Oslo, Norway.
- Hindar, A., Wright, R. F., Nilsen, P., Larssen, T., Högberget, R. (2003). Effects on stream water chemistry and forest vitality after whole-catchment application of dolomite to a forest ecosystem in southern Norway. *Forest Ecology and Management* 180 (2003) 509–525.
- Hjerpe, K., Olsson, P., Eriksson, H. (2008). Skogsmarkskalkning (Rapport 15:2008). Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.
- Jacobson, S., Högbom, L., Ring, E., Nohrstedt, H.-Ö. (2004). Effects of wood ash dose and formulation on soil chemistry at two coniferous forest sites. *Water, Air, and Soil Pollution* 158 (1), 113–125.
- Kronnäs, V., Westerberg, I., Zetterberg, T., Pröjts, J., Holmström, C., Stibe L. (2012). Långsiktiga effekter på vattenkemi, öringsbestånd och bottenfauna efter ask- och kalkbehandling i hela avrinningsområden i brukad skogsmark - utvärdering 13 år efter åtgärder mot försurning. Rapport 6:2012. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295

- Larsson, P-E., Ugglå, E. & Westling, O. (2003). Långsiktiga effekter av skogs- markskalkning på mark- och markvattenkemi. IVL rapport B1524. Aneboda: IVL.
- Löfgren, S., Zetterberg, T., Larsson, P-E., Cory, N., Klarqvist, M., Kronnäs, V., Lång, L-O. (2008). Skogsmarkskalkningens effekter på kemin i mark, grundvatten och ytvatten i SKOKAL-områdena 16 år efter behandling. Rapport 16:2008. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295
- Magnusson, T. (2009). Skogsbruk, mark och vatten (Skogsskötselserien nr 13) Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Moldan, F. & Kronnäs, V. (2003). Modelling acidification and recovery of soils and surface waters. Kungliga Skogs och Lantbruksakademien. Tidskr. 142(18):37-42.
- Moldan, F., Westling, O. och Munthe, J. (1999). Geochemical modelling of acidification and recovery in forest soils and runoff waters. IVL rapport B:1323. Göteborg: Swedish Environmental Research Institute.
- Naturvårdsverket (2012-03-23). Bara naturlig försurning – miljömål.se.
<http://www.miljomal.se/sv/Miljomalen/3-Bara-naturlig-forsurning/> [2013-11-26; 2014-01-13]
- Naturvårdsverket. (2011). Nationell plan för kalkning 2011–2015. Rapport 6449. ISBN 978-91-620-6449-5. Stockholm: Naturvårdsverket.
- Nilsson, T., Lundin, L. (1996) Effects of drainage and wood ash fertilization on water chemistry at a cutover peatland. *Hydrobiologia* 335: 3-18, 1996. Department of Forest Soils, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.
- Nordin, A., Bergström, A-K., Granberg, G., Grip, H., Gustafsson, D., Gärdenäs, A., Hyvönen-Olsson, R., Jansson, P-E., Laudon, H., Nilsson, M. B., Svensson, M., Öquist, M. 2009. Effekter av ett intensivare skogsbruk på skogslandskapets mark, vatten och växthusgaser. Faktaunderlag till MINT-utredningen. SLU, Rapport. ISBN 978-91-86197-46-9.
- Norström, S. H., Bylund, D., Vestin, J. L. K., Lundström, U. S. (2011) Initial effects of wood ash application on the stream water chemistry in a boreal catchment in central Sweden. *Water air soil pollution* (2011) 221:123-136.
- Olsson, B. A., Bengtsson, J., & Lundkvist, H. (1996). Effects of different forest harvest intensities on the pools of exchangeable cations in coniferous forest soils. *Forest Ecology and Management*. 84(1–3), 135–147.
- Päivänen, J., Hånell, B. (2012) Peatland ecology and forestry – a sound approach. University of Helsinki department of forest sciences publications 3: 1-267.
- Pihl-Karlsson, G., Karlsson, P E., Akselsson, C., Kronnäs, V., Hellsten, S. (2013). Krondropps nätets övervakning av luftföroreningar i Sverige – mätningar och modellering - Resultat t.o.m. september 2012. IVL rapport B 2095. Göteborg: IVL Svenska Miljöinstitutet AB.
- Piirainen, S., Domish, T., Moilanen, M., Nieminen, M. (2013) Long-term effects of ash fertilization on runoff water quality from drained peatland forests. *Forest ecology and management* 287 (2013) 53-66.
- Regeringskansliet (2013) Sveriges andra rapport om utvecklingen av förnybar energi enligt artikel 22 i Direktiv 2009/28/EG.
- Reuss, J. O. & Johnson, D. W. (1986). Acid deposition and the acidification of soils and waters. *Ecological studies* 59. Springer: 62-65
- Ring, E., Brömssen, C., Losjö, K., Sikström, U. (2011) Water chemistry following wood-ash application to a scots pine stand on drained peatland in sweden. *Forestry studies, Metsaanduslikud Uurimused* 54, 54-70, 2011.
- Ring, E., Jacobson, S., & Nohrstedt, H. Ö. (2006). Soil-solution chemistry in a coniferous stand after adding wood ash and nitrogen. *Canadian Journal Forestry of Research* 36(1), 153–163.

- Saarsalmi, A., Mälikönen, E., Piirainen, S. (2001). Effects of wood ash fertilization on forest soil chemical properties. *Silva Fennica* 35 (3), 355–368.
- Skogsdata (2013). Sveriges officiella statistik. Institutionen för skoglig resurshushållning - Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen, SLU, Umeå 2013. ISSN 0280-0543
- Skogsstyrelsen (2006). Handbok – Från skogsbränsleuttag till askåterföring. RecAsh – ett demonstrationsprojekt inom Life-Miljö. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Skogsstyrelsen (2013). Utbildningsmaterial, Utbildningspaket, svår (svenska). [http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Utbildningsmaterial%20Education%20Material/1.%20Utbildningsmaterial%20på%20svenska%20Swedish%20Education%20Package/2.%20Svår%20Advanced/Utbildningspaket,%20svår%20\(svenska\).pdf](http://www.skogsstyrelsen.se/Global/myndigheten/Projekt/RecAsh/Utbildningsmaterial%20Education%20Material/1.%20Utbildningsmaterial%20på%20svenska%20Swedish%20Education%20Package/2.%20Svår%20Advanced/Utbildningspaket,%20svår%20(svenska).pdf) [2013-11-19]
- Skogsstyrelsen (2008a). Skogliga konsekvensanalyser 2008 -SKA-VB 08. Rapport 25:2008. Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295
- Skogsstyrelsen (2008b) Rekommendationer vid uttag av avverkningsrester och askåterföring (Meddelande 2:2008). Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295
- Skogsvårdslagslagen (2013). Jönköping. (SFS 1979:429)
- Steenari, B., Karlsson, L.G., Lindqvist, O. (1999). Evaluation of the leaching of characteristics of wood ash and the influence of ash agglomeration. *Biomass Bioenergy* 16, 119–136.
- Steenari, B., Lindqvist, O. (1997). Stabilisation of biofuel ashes for recycling to forest soil. *Biomass Bioenergy* 13, 39–50.
- Stumm, W. & J. J. Morgan. (1981) *Aquatic chemistry*. New York: Wiley. ISBN 0-471-04831-3.
- Sverdrup, H., & Rosen, K. (1998). Long-term base cation mass balances for Swedish forests and the concept of sustainability. *Forest Ecology and Management*, 110(1–3), 221–236.
- Tulonen, T., Arvola, L., Ollila, S. (2002). Limnological effects of wood ash application to the subcatchments of boreal, humic lakes. *J. Environ. Qual.* 31:946-953.
- Värmeforsk (2011-06-xx). En vägledning i terminologin för aska och pannor för användaren av Allaska. <http://allaska.varmeforsk.se/allaska/pdf/allbetse.pdf> [2013-09-19]
- Warfvinge, P. & Bertills, U. (2000). Naturens återhämtning från förorening – aktuell kunskap och framtidsscenarier (Naturvårdsverket Rapport 5028) Stockholm: Naturvårdsverket.
- Wickström, H., Rex, E., Eriksson, H., Örlander, G. (2002). Action plan to counteract soil acidification and to promote sustainable use of forestland. (Meddelande 4:2002). Jönköping: Skogsstyrelsen. ISSN 1100-0295.

Muntlig kommunikation

- Andersson, S. (2013). Stefan Andersson. Projektledare Skogsstyrelsen. Ryttarevägen 8, 302 60 Halmstad. Tfn 035-13 68 40, fax 035-17 85 93 [2013-09-17]
- Magnusson, T. (2013). Tord Magnusson. Universitetslektor, Produktionsekologi. Inst. för skogens ekologi och skötsel, Sveriges Lantbruksuniversitet, Umeå. 090-7868344, tord.magnusson@slu.se [2013-11-21]

Omslagsbild

- Bild publicerad med tillstånd av upphovsrättsmannen. Fotograf: Sami Rahkonen (2013) <http://www.srfoto.se> [2013-01-22]

SENASTE UTGIVNA NUMMER

- 2013:3 Författare: Hanna Jönsson
Kan vistelse i skogs- eller hantverksmiljö sänka stressade personers stressnivå? En jämförande studie
- 2013:4 Författare: Sven-Erik Zimmer
Effekter av höggallring i flerskiktad skog - beståndsutveckling i ett fältförsök med Naturkultur
- 2013:5 Författare: Javier Segura Angulo
Autumn water sources for understory vegetation and fungi in a boreal forest: An evaluation using stable isotopes
- 2013:6 Författare: Frida Snell
Bevarande av hotade epifytiska lavar och vedsvampar i Norrbottens län. – Rödlistan som verktyg i praktisk naturvård
- 2013:7 Författare: Ebba Okfors
Ekoturism i jordbrukslandskap – ett vinnande koncept? En tvärvetenskaplig studie om kulturvärden och naturvärden på Sjögetorp
- 2013:8 Författare: Anna Hallmén
Hur kan mångfalden gynnas på SCA:s naturvårdsareal? Natur- och kulturvärden i Peltovaara mångfaldspark
- 2013:9 Författare: Mattias Söderholm
Verktyg och metoder för kontroll av dubbskadedjup på timmerstockar - metodutveckling
- 2013:10 Författare: Johan Karlsson
Modellering av diametern hos tall (*Pinus sylvestris*) som en effekt av beståndstäthet och biomekanik
- 2013:11 Författare: Lisa Wik Persson
Nitrogen fixation among boreal feather mosses along a clear-cut chronosequence
- 2013:12 Författare: Jakob Nemer Barbiche
Självspredning av contortatall (*Pinus contorta*) på impedimentmark i Sverige
- 2013:13 Författare: Sebastian Backlund
The effects of mother trees and site conditions on the distribution of natural regeneration establishment in a Bornean rainforest disturbed by logging and fire
- 2014:1 Författare: Matilda Olofsson
Utomhuspedagogik i skogen för barn. Skötsel och informationsförslag för Stadsliden, en stadsskog i Umeå
- 2014:2 Författare: Li Videkull
Tree species traits response to different canopy cover for 34 tree species in an enrichment planted tropical secondary rain forest in Sabah, Malaysia
- 2014:3 Författare: Helena Lindén
Förvaltning och skogsskötsel av ett tätortsnära naturreservat. – En fallstudie om Lugnets naturreservat i Falun

Hela förteckningen på utgivna nummer hittar du på www.seksko.slu.se